

Universidade de Brasília – UnB
Faculdade UnB Gama – FGA
Engenharia Eletrônica

**Dispositivo de controle de inserção de eletrodo
de ablação e análise em testes *ex vivo*.**

Autor: Mateus Alves da Rocha
Orientadora: Profa. Dra. Suélia de Siqueira R. Fleury Rosa
Coorientadora: Eng. Joziane Porcino da Silva

Brasília, DF
2018



Mateus Alves da Rocha

**Dispositivo de controle de inserção de eletrodo de
ablação e análise em testes *ex vivo*.**

Monografia submetida ao curso de graduação
em Engenharia Eletrônica da Universidade
de Brasília, como requisito parcial para ob-
tenção do Título de Bacharel em Engenharia
Eletrônica.

Universidade de Brasília – UnB

Faculdade UnB Gama – FGA

Orientadora: Profa. Dra. Suélia de Siqueira R. Fleury Rosa

Coorientadora: Eng. Joziane Porcino da Silva

Brasília, DF

2018

Mateus Alves da Rocha

Dispositivo de controle de inserção de eletrodo de ablação e análise em testes *ex vivo*. / Mateus Alves da Rocha. – Brasília, DF, 2018-
54 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientadora: Profa. Dra. Suélia de Siqueira R. Fleury Rosa

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília – UnB
Faculdade UnB Gama – FGA , 2018.

1. Ablação por Radiofrequência. 2. Eletrodo. I. Profa. Dra. Suélia de Siqueira R. Fleury Rosa. II. Eng. Joziane Porcino da Silva. III. Universidade de Brasília. IV. Faculdade UnB Gama. V. Dispositivo de controle de inserção de eletrodo de ablação e análise em testes *ex vivo*.

CDU 02:141:005.6

Mateus Alves da Rocha

Dispositivo de controle de inserção de eletrodo de ablação e análise em testes *ex vivo*.

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Eletrônica da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 03 de Agosto de 2018:

**Profa. Dra. Suélia de Siqueira R.
Fleury Rosa**
Orientadora

Eng. Joziane Porcino da Silva
Coorientadora

Me. Carleide dos Santos Moizinho
Convidado 1

**Eng. Marcos Augusto Moutinho
Fonseca**
Convidado 2

Prof. Msc. Paulo Roberto dos Santos
Convidado 3

Me. Sylvia de Sousa Faria
Convidado 4

Brasília, DF
2018

À minha família

Agradecimentos

Agradeço a minha família por me ensinarem conhecimentos que não podem ser convertidos em livros ou lecionados por qualquer pessoa. E também por me orientarem, escutarem e por torcerem pelo meu sucesso. Nada que conquistei até aqui ou que conquistarei no futuro será mais valioso do que vocês.

Agradeço a minha extraordinária mãe Maria Helena Alves Bernardes que possui força, coragem, bondade e honra incalculável. A senhora me ensinou por meio de exemplos a nunca fugir das minhas responsabilidades. Eu a observei todos os dias acordar cedo e ir trabalhar sem nunca reclamar. Aguentar uma rotina pesada apenas para garantir que eu tivesse uma chance de vencer. E assim, sempre que me senti sem forças eu lembrei que minha mãe também é minha heroína e que por este motivo eu precisava ser forte o bastante para suportar aqueles momentos. Não haveriam páginas suficientes para agradecer você, mamãe. Eu te amo para sempre mais do que sou capaz de transcrever.

Agradeço também a minha namorada e porto seguro, Ingrid Mendes Rodrigues, pelo amor que temos e também por ser minha melhor amiga. Eu jamais teria conseguido sem você, minha gatinha. Você é uma pessoa maravilhosa que eu tive a sorte de encontrar. Obrigado pelos conselhos e por sempre estar disposta a me ouvir. Além disso, obrigado pela paciência e por ter sofrido todos estes anos ao meu lado sem jamais hesitar. Meu amor por você é imensurável e nossa vida está apenas começando.

A minha querida professora e orientadora Dra. Suélia de Siqueira Rodrigues Fleury Rosa a quem admiro em todas as áreas possíveis. Minha vida acadêmica mudou no momento que a conheci. Obrigado pela honra de suas orientações. Agradeço também a Joziane Porcino da Silva que me co-orientou no início deste trabalho. Obrigado.

Agradeço a mestre Mileny Ximenes Oliveira pela amizade e paciência. Você me deu *insights* e ensinamentos valiosíssimos sem cobrar nada em troca e foi fundamental para me ajudar a manter a calma diante de adversidades que apareceram ao longo deste trabalho. Agradeço também aos meus colegas dos laboratórios LAB e LEI. Em especial, ao Tiago, Luciana, Brenda, Paulo e Gilvanson por todos os momentos descontraídos e por toda ajuda incondicional que me propuseram. Jamais esquecerei estes momentos. Contem comigo sempre.

Aos demais amigos por sempre estarem comigo. Infelizmente não daria para listar todos, mas me sinto honrado pela oportunidade que tive de conhecer cada um e aprender com vocês.

Muito obrigado.

*"It's not who you are that holds you back,
it's who you think you're not."
(Eric Thomas)*

Resumo

A Ablação por Radiofrequência (ARF) é um método de tratamento aplicado a nódulos tumorais uma vez diagnosticados em fase inicial. O procedimento utiliza um eletrodo para fornecer uma corrente alternada em alta frequência diretamente no foco do tumor visando a necrose do tecido afetado. Apesar de ser minimamente invasivo e ter baixos riscos associados, quando comparado a outros métodos de tratamento, é uma técnica ainda pouco explorada no Brasil.

Neste trabalho, foi feita uma análise comparativa entre alguns eletrodos existentes de forma a determinar a geometria de eletrodo para o sistema de ablação pulmonar por radiofrequência, batizado de Helena. Adicionalmente, foi desenvolvido um equipamento para manusear o eletrodo de ablação de forma automática, garantindo, desta forma, maior precisão e controle na abertura das hastes. O equipamento tem a função de auxiliar ensaios *ex vivo* aumentando a confiabilidade e repetibilidade dos protocolos utilizados. Por fim, foram efetuados os testes para verificar e validar a eficiência do equipamento.

Palavras-chaves: Ablação por radiofrequência, Empunhadura automatizada, Eletrodo, Ensaios *ex vivo*.

Abstract

Radiofrequency Ablation (RFA) is a treatment method applied to tumor nodules once diagnosed in the initial phase. The procedure uses an electrode to provide a high frequency alternating current directly at the focus of the tumor aiming at the necrosis of the affected tissue. Although it is minimally invasive and has low associated risks, when compared to other treatment methods, it is a technique that is still little explored in Brazil.

In this work, a comparative analysis was made between some existing electrodes in order to determine the electrode geometry for the radiofrequency pulmonary ablation system, named Helena. In addition, an equipment was developed to handle the ablation electrode automatically, thus guaranteeing greater precision and control in the opening of the rods. The equipment has the function to aid *ex vivo* testing by increasing the reliability and repeatability of the protocols used. Finally, the tests were carried out to verify and validate the efficiency of the equipment.

Key-words: Radio Frequency Ablation, Automated Handle, Electrode, *Ex vivo* test.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Diferentes estruturas de eletrodos: A - Guarda-chuva: Boston Scientific LeVeen 4cm, B - Árvore de natal: Starburst Rita Model 70, C - Resfriado internamente: Cooltip Radionics e D - Molhado: Wet Berchtold HiTT com 1,2mm e 2mm de diâmetro. Fonte: Adaptado de (MULIER et al., 2006)	19
Figura 2 – Diferentes empunhaduras de eletrodos: A - <i>Boston Scientific LeVeen 4 cm</i> , B - <i>Starburst XL</i> , C - Imagem utilizada na descrição da patente do eletrodo. Fonte: Adaptado de (SCIENTIFIC, 2013; ANGIODYNAMICS, 2010; Christopher, Pearson; Garabedian, Robert; RIOUX, 2014)	21
Figura 3 – Modelos de empunhaduras: A - Modelo de empunhadura proposto por Souza; B - Modelo de empunhadura proposta por Amaral. Adatapado de (SOUZA, 2016; AMARAL, 2017)	22
Figura 4 – Diagrama de blocos do sistema de inserção automatizado.	23
Figura 5 – Diferentes vistas do primeiro protótipo: A – Vista frontal em 3 dimensões; B – Vista frontal em 2 dimensões; C – Vista lateral em 3 dimensões. 1- Motor de passo unipolar; 2 – Peça de acoplamento ao eletrodo; 3 – Peça de fixação do eixo do motor ao parafuso; 4 – Suporte de fixação do eletrodo; 5 – Parafuso rotativo. Do autor	24
Figura 6 – Protótipo 1: resultado da montagem. Do autor.	25
Figura 7 – Diferentes vistas da estrutura final. 1 – motor de passo JLB 17HS1352-P4130; 2 – Peça de fixação do fuso ao eixo do motor de passo; 3 – Peça de acoplamento do eletrodo; 4 – Rolamento; 5 – Estrutura de fixação do eletrodo; 6 – Fuso trapezoidal de 2 mm por passo. Do autor.	25
Figura 8 – Estrutura Final: resultado da montagem. Do autor.	26
Figura 9 – Esquemático do circuito eletrônico de controle do dispositivo. Do autor.	26
Figura 10 – A – camada inferior referente às trilhas do circuito; B – camada superior referente às <i>labels</i> ; C – Camadas sobrepostas.	27
Figura 11 – PCI finalizada montada na plataforma Arduino Uno. Do autor.	28
Figura 12 – Fluxograma de comunicação entre os <i>softwares</i> de controle do dispositivo. Do autor.	30
Figura 13 – Interface gráfica do programa de controle do dispositivo. Do autor.	31
Figura 14 – Equipamentos utilizados durante os testes <i>ex vivo</i> . Do autor.	32
Figura 15 – Eletrodo de ablação <i>Boston Scientific</i> com 5 hastes. Do autor.	32
Figura 16 – A - Posicionamento do eletrodo para o teste <i>ex vivo</i> realizado sem o dispositivo; B - Posicionamento do eletrodo para o teste <i>ex vivo</i> realizado com o dispositivo. Do autor.	33

Figura 17 – Ilustração do corte longitudinal da peça de fígado bovino após o procedimento de ensaio de forma a tomar as medidas necessárias para a análise da área de ablação. Adaptado de (MARQUES, 2016).	34
Figura 18 – Eletrodo comercial acoplado ao primeiro protótipo e teste de inserção realizado no chuchu. Do autor.	36
Figura 19 – Eletrodo de 5 hastes desenvolvido por (MARQUES, 2016) acoplado no dispositivo desenvolvido. Do autor.	37
Figura 20 – Peças de fígado bovino- Amostras SD1, SD2 e SD3 na parte superior; CD1, CD2 e CD3 na parte inferior. Do autor	38
Figura 21 – Peça de fígado bovino - amostra CD2. Marcações dos eixos x e z exemplificando o critério utilizado para medição dos diâmetros. Quadrados com lados iguais a 1 cm. Do autor	40

Lista de tabelas

Tabela 1 – Custo dos materiais utilizados na confecção do sistema de acionamento das hastes. Valores referentes à aquisição em empresas locais e através da internet.	37
Tabela 2 – Teste realizado sem o dispositivo	39
Tabela 3 – Teste realizado com o dispositivo	39

Lista de abreviaturas e siglas

IARC	<i>International Agency for Research on Cancer</i>
ARF	Ablação por Radiofrequência
NCCN	<i>National Comprehensive Cancer Network</i>
NSCLC	<i>Non-small cell lung cancer</i>
SOFIA	<i>Software of Intensive Ablation</i>
LAB	Laboratório de Engenharia Biomédica
LEI	Laboratório de Engenharia e Inovação
FGA	Faculdade do Gama
UnB	Universidade de Brasília
HELENA	<i>Health Equipment for Lung Intense Ablation</i>
RF	Radiofrequência
PPGEB	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica
Medline	<i>Medical Literature Analysis and Retrieval System Online</i>
PMC	<i>Pubmed Central</i>
NiTi	Níquel e Titânio

Sumário

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Contextualização	15
1.2	Objetivos	16
1.2.1	Objetivo Geral	16
1.2.2	Objetivos Específicos	16
1.3	Apresentação do trabalho	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Eletrodos de ablação	18
2.2	Sistema de acionamento automatizado	20
3	METODOLOGIA	23
3.1	Processo de fabricação do sistema de acionamento automatizado	23
3.1.1	Protótipos estruturais	23
3.1.1.1	Primeiro protótipo	23
3.1.1.2	Estrutura final	24
3.1.2	Circuito eletrônico	25
3.1.2.1	Criação da Placa de Circuito Impresso - PCI	27
3.1.3	Programas de controle e interação	29
3.2	Testes experimentais <i>ex vivo</i>	31
3.2.1	Protocolo experimental	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1	Determinação do formato do eletrodo	35
4.2	Testes mecânicos do sistema de acionamento	35
4.3	O produto final da construção	36
4.4	Testes <i>ex vivo</i>	38
5	CONCLUSÕES	41
5.1	Considerações finais	41
5.2	Trabalhos futuros	42
	REFERÊNCIAS	43
	APÊNDICES	46
	APÊNDICE A – PROGRAMA DE CONTROLE	47

APÊNDICE B – PROGRAMA DA <i>INTERFACE</i>	49
-----------------------------------------------------	----

1 Introdução

1.1 Contextualização

De acordo com a *International Agency for Research on Cancer* (IARC), através do projeto GLOBOCAN, em 2012, 1,82 milhão de diagnósticos de câncer no pulmão foram realizados, tornando este tipo de tumor um dos que apresentam maior incidência em escala mundial (FERLAY et al., 2015). No ano de 2015, 1,5 milhão de novos casos foram registrados apenas nos Estados Unidos, enquanto no Brasil, foram constatados mais de 500 mil para o mesmo período (SÁ et al., 2016).

Embora a forma de tratamento mais comum para esse tipo de câncer seja a ressecção cirúrgica, apenas uma parcela de 20 a 30 % dos pacientes são aptos ao procedimento (LIU; ZHI, 2015; XIE et al., 2017). Além deste método, utiliza-se a radioterapia, quimioterapia e também a ablação térmica (AKHAN et al., 2015). Neste último, pode-se optar por Crioablação que utiliza gases para eliminar as células tumorais através do congelamento, Ablação por Microondas com frequências maiores que 900 MHz (POULOU et al., 2015) e a Ablação por Radiofrequência (ARF) com frequências na faixa de 460 – 480 KHz (LIU; ZHI, 2015; SMITH; JENNINGS, 2015). Sendo a ARF a modalidade predominante no Reino Unido no ano de 2014 (SMITH; JENNINGS, 2015).

Dentre as opções de tratamento minimamente invasivas utilizando a ablação para tumores pulmonares, apenas a ARF foi listada nas diretrizes estabelecidas pela *United States National Comprehensive Cancer Network* (NCCN), uma rede de centros de pesquisas voltadas ao tratamento de câncer fundada nos Estados Unidos, para tratamento de células NSCLC (*non-small cell lung cancer*), ou seja, células de câncer pulmonar com dimensões que impedem de ser consideradas pequenas. Isso é devido a esta técnica permitir a máxima inativação das células tumorais com a maior proteção dos tecidos normais do pulmão, considerando o tumor centrado na região de necrose e os tecidos normais a um raio de 0,5 – 1 cm de distância (LIU; ZHI, 2015). Entretanto, segundo os estudos (XIE et al., 2017; KODAMA et al., 2014; HIRAKI et al., 2014), a ARF tem sido utilizada também em pacientes com metástase. Além disso, este procedimento preserva as funções pulmonares, pode ser repetido, é utilizado mesmo que o paciente tenha sido submetido a outros tratamentos e é aplicável para múltiplos tumores no pulmão (HIRAKI et al., 2014; BABA et al., 2014). Adicionalmente, Xie (XIE et al., 2017) considera a ARF uma promissora alternativa de tratamento uma vez que a taxa de sobrevida com este método é similar aos métodos de ressecção sublobar e radioterapia.

Considerando as vantagens das técnicas de ARF, nasceu o projeto SOFIA (*Soft-*

ware of Intensive Ablation - Software de ablação intensiva) em uma parceria entre o Ministério da Saúde e a Universidade de Brasília (UnB) com o objetivo de desenvolver ferramentas para a realização de ablação de tumores hepáticos (MARQUES, 2016). Esse equipamento foi desenvolvido no Laboratório de Engenharia Biomédica (LAB) vinculado ao Laboratório de Engenharia e Inovação (LEI) no campus da Faculdade do Gama (FGA) da UnB.

Portanto, a fim de alcançar o tratamento de tumores pulmonares, surgiu o projeto HELENA (*Health Equipment for Lung Intense Ablation* - Equipamento de saúde para ablação intensiva em pulmões) com o objetivo de utilizar uma estrutura similar ao seu antecessor (equipamento do projeto SOFIA) com o foco em câncer no pulmão. O sistema conta com um gerador de radiofrequência (RF), um eletrodo monopolar ativo e um *software* para realizar o controle.

Neste trabalho, será abordado o desenvolvimento de um equipamento para o controle de inserção do eletrodo voltado para procedimentos de testes *ex vivo*. Adicionalmente, busca-se avaliar o impacto do dispositivo na execução dos protocolos de pesquisa.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho consiste na construção de um dispositivo de manuseio automático do eletrodo para ser utilizado nos equipamentos de ARF SOFIA e HELENA em testes *ex vivo*. Com esse dispositivo, o eletrodo irá dispor de um acionamento automatizado de suas hastes controlado por *software*.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar o formato do eletrodo apropriado para o procedimento de ARF em tecidos pulmonares;
- Desenvolver um sistema de acionamento automatizado para o eletrodo contendo uma interface para inserção de parâmetros pelo usuário;
- Realizar testes *ex vivo* para avaliar a performance do dispositivo proposto comparando ao procedimento convencional.

1.3 Apresentação do trabalho

A estrutura desta monografia é composta por 5 capítulos. O Capítulo 1 fornece uma introdução ao tema de ARF contextualizando o problema dos tumores pulmonares e

apresentando algumas iniciativas brasileiras para desenvolvimento de equipamentos para esse procedimento. Além disso, neste mesmo capítulo são determinados objetivos gerais e específicos do trabalho.

No Capítulo 2, são relatadas as revisões bibliográficas sobre o tema de forma a investigar o estado da arte nos últimos 5 anos.

O Capítulo 3 traz a metodologia para a solução proposta neste trabalho. Neste capítulo é demonstrado como foi desenvolvido cada parte do sistema.

No Capítulo 4, discute-se os resultados obtidos com o desenvolvimento e os testes realizados.

Por fim, o Capítulo 5 conclui o trabalho relacionando os resultados com os objetivos apresentados e discorrendo sobre possíveis melhorias a serem implementadas no futuro. Após estes capítulos, encontram-se as revisões bibliográficas utilizadas no embasamento teórico e os apêndices com os códigos dos programas desenvolvidos.

2 Fundamentação teórica

A ARF ocorre alternando correntes elétricas senoidais em frequências, normalmente entre $460 - 480\text{Khz}$ com uma potência associada. Isso faz com que os íons no tecido tumoral iniciem uma turbulência e, com a fricção mútua, transformem essa energia em calor. O resultado dessa movimentação é uma elevação na temperatura local, em torno de 60 a 100°C , causando a necrose da célula (LIU; ZHI, 2015).

O aparelho de ultrassonografia utilizado para guiar o profissional durante o procedimento, tem seu desempenho melhorado pelo ótimo contraste entre tecido pulmonar, tumor, pulmão arejado e metal do eletrodo, proporcionando um excelente ambiente para a aplicação da ARF. Além disso, uma dada quantidade de radiofrequência produz um volume de ablação muito maior no pulmão quando comparado com outros órgãos como o fígado ou os rins (BHATIA et al., 2016).

2.1 Eletrodos de ablação

O eletrodo de ARF é a ferramenta utilizada pelo médico durante a realização do tratamento. Esta ferramenta é inserida diretamente no tecido tumoral e tem a função de entregar a corrente elétrica enviada pelo gerador. Existem tipos diferentes de eletrodos que podem ser mais adequados de acordo com cada paciente.

Os eletrodos em um sistema de ablação podem ser dos tipos unipolar, também conhecidos como monopolar, ou bipolar. A diferença está no fato que eletrodos unipolares precisam de uma ou mais placas de retorno para fechar o circuito e entregar a corrente desejada ao tecido. Enquanto os bipolares possuem tanto o eletrodo ativo quanto o eletrodo de retorno em sua ponta, tornando desnecessária uma placa de retorno (LIU; ZHI, 2015). Os modelos de eletrodo mais utilizados são os de várias hastes expansíveis e os do tipo agulha (XIE et al., 2017; IHARA et al., 2016) ilustrados na Figura 1.

Os expansíveis geralmente são conhecidos como guarda-chuvas (*LeVeen*) Figura 1 A e árvore de natal (*StarBurst*) Figura 1 B (MARQUES, 2016). Esses possuem múltiplas hastes inseridas em um cateter e permitem a inserção através do sistema de acionamento em sua empunhadura. Uma vez acionado, o eletrodo expande suas hastes, aumentando, desta forma, a área de ablação. Esse tipo de eletrodo, quando totalmente aberto, apresenta um diâmetro de $3,5\text{ cm}$, pode produzir uma área de necrose de 3 a 5 cm e uma zona ablativa de 5 a 6 cm (LIU; ZHI, 2015).

Os eletrodos também podem ser do tipo com resfriamento interno (*Cooltip*) Figura 1 C ou molhados (*irrigation type*) Figura 1 D (LIU; ZHI, 2015). O sistema dos *Cooltips*

faz circular água até a agulha por meio de uma bomba de pressão elétrica, a fim de esfriar o eletrodo ativo e prevenir a carbonização dos tecidos ao seu redor, aumentando a área ablativa (LIU; ZHI, 2015). Já o do tipo molhado possui uma via interna onde se pode injetar soluções diretamente no tecido alvo. Dessa forma, pode-se aumentar a condutividade elétrica e térmica do tecido, resultando em uma área de ablação maior e prevenindo a carbonização (LIU; ZHI, 2015).

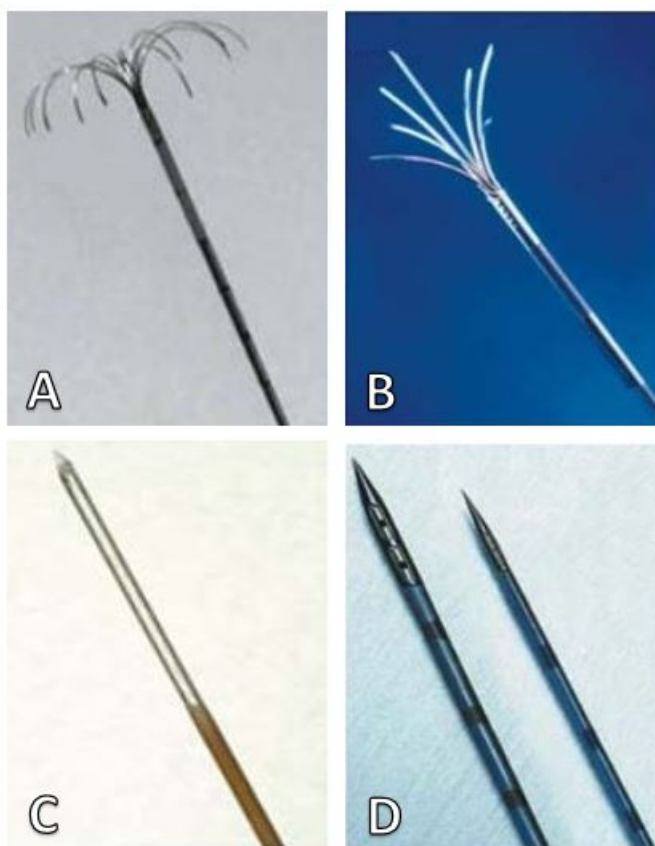


Figura 1 – Diferentes estruturas de eletrodos: A - Guarda-chuva: Boston Scientific LeVein 4cm, B - Árvore de natal: Starburst Rita Model 70, C - Resfriado internamente: Cooltip Radionics e D - Molhado: Wet Berchtold HiTT com 1,2mm e 2mm de diâmetro. Fonte: Adaptado de (MULIER et al., 2006)

A escolha do eletrodo adequado está diretamente ligada ao tamanho e localização dos tumores (LIU; ZHI, 2015; XIE et al., 2017; MARQUES, 2016). Além disso, a fim de certificar a completa, busca-se obter uma zona ablativa de 0,5 a 1,0 cm ao redor do tumor (LIU; ZHI, 2015; HIRAKI et al., 2014).

Liu e Zhi (LIU; ZHI, 2015) afirmam que uma vez que os pacientes possuem uma respiração espontânea e uma grande mobilidade no pulmão, os eletrodos expansíveis são mais indicados pois conseguem cobrir maior volume nos tumores e minimizam ferimentos internos que podem ser causados pela movimentação. Entretanto, para tumores próximos a órgãos e estruturas vitais, como o coração, grandes veias sanguíneas, traqueia e brônquios o eletrodo do tipo agulha é uma escolha mais segura.

Hiraki (HIRAKI et al., 2014) declara que os eletrodos expansíveis e do tipo *Cooltips* são utilizados durante o procedimento de ARF. Adicionalmente, indica que os expansíveis são mais utilizados para ARF em pulmão. Marques (MARQUES, 2016) constatou que o modelo expansível apresenta a maior área de ablação entre os modelos sem refrigeração interna. Smith e Jennings (SMITH; JENNINGS, 2015) afirmam que os eletrodos expansíveis oferecem vantagens quando aplicados no pulmão pois, como o eletrodo está fixado no tumor, é menos provável que ele saia da sua posição inicial.

A fim de contornar o problema com o tamanho do volume de ablação, Kodama (KODAMA et al., 2014) utilizou eletrodos *Cooltips*. Para tumores menores ou iguais a 2 cm, posicionou o eletrodo no centro e, para tumores maiores, foi necessário reposicionar o eletrodo duas ou três vezes em posições diferentes. Ihara (IHARA et al., 2016) informa que tumores grandes precisam de múltiplas sessões, chamadas de *overlapping*, e que este não é um procedimento muito simples. Por isso, os autores deste estudo sugerem o uso de eletrodos expansíveis para tumores maiores que 1 cm de diâmetro sempre que possível.

Hiraki publicou um estudo em 2006 pelo qual informava ser possível obter um controle maior sobre a progressão dos tumores pulmonares após a ARF com o uso de eletrodos expansíveis do que utilizando um eletrodo resfriado internamente. Os autores também declaram que a ARF executada utilizando um eletrodo expansível adequado pode até mesmo comparar-se à ressecção limitada (HIRAKI et al., 2006).

Quando se utiliza eletrodos *Cooltips*, o calor se espalha da ponta do equipamento para o órgão e, portanto, a extensão da área de necrose depende da capacidade condutiva e termal dos tecidos adjacentes. Por consequência, tecidos pulmonares ao redor do tumor com limitações elétricas ou termais podem ter mais dificuldade para coagular e resultar em uma zona ablativa insuficiente. Em comparação, quando se usa eletrodos expansíveis, o calor irradia das hastes aumentando a probabilidade da necrose independentemente das características tumorais. Em ARF de tecidos hepáticos os dois eletrodos possuem eficiência equivalente (HIRAKI et al., 2006).

Portanto, com base na literatura específica, há maiores vantagens nos eletrodos com hastes expansíveis para o objetivo de alcançar a maior zona ablativa possível sem a necessidade de um sistema de esfriamento interno ou técnica de *overlapping*.

2.2 Sistema de acionamento automatizado

Na literatura, poucos estudos são direcionados à empunhadura do dispositivo. Pode-se atribuir isso ao fato do tipo utilizado atualmente satisfazer as necessidades dos profissionais que operam o aparelho. Na Figura 2, são apresentadas as empunhaduras dos eletrodos A e B utilizados na Figura 1. As dos eletrodos C e D da Figura 1 não são mecanicamente ativas, sendo utilizadas apenas para auxiliar no adequado posicionamento

do mecanismo no tumor. Portanto, sua análise foge do escopo deste trabalho que é de automatizar o atual sistema mecânico de acionamento.

Como pode ser observado na Figura 2 A e B, a empunhadura utilizada em eletrodos de hastes expansíveis são similares a êmbolo de seringas. Pode-se verificar que esses modelos possuem características similares a empunhadura esquematizada no desenvolvimento da patente em 2014 conforme a Figura 2 C (Christopher, Pearson; Garabedian, Robert; RIOUX, 2014).



Figura 2 – Diferentes empunhaduras de eletrodos: A - *Boston Scientific LeVeen 4 cm*, B - *Starburst XL*, C - Imagem utilizada na descrição da patente do eletrodo. Fonte: Adaptado de (SCIENTIFIC, 2013; ANGIODYNAMICS, 2010; Christopher, Pearson; Garabedian, Robert; RIOUX, 2014)

Pesquisadores como (MARQUES, 2016; SOUZA, 2016) propuseram empunhaduras em formato de êmbolo para seus trabalhos. Entretanto, (SOUZA, 2016; AMARAL, 2017) chegaram a propor uma empunhadura diferente para o eletrodo guarda-chuva. Nesse novo modelo, a empunhadura teria um formato de *Slider* inspirado em ferramentas como estiletes conforme a Figura 3. Apesar disso, o sistema ainda é puramente mecânico sendo necessária a aplicação de força para o acionamento. A consequência desta limitação é a maior probabilidade de erro por falha humana durante o procedimento de ARF ou testes experimentais e também a diminuição da precisão no controle da inserção das hastes no tumor.

Em relação a automatização, pesquisadores brasileiros do programa de Pós Graduação em Engenharia Biomédica (PPGEB/FGA) da Universidade de Brasília (OLIVEIRA et al., 2016) modelaram matematicamente e confirmaram através de simulações que se-

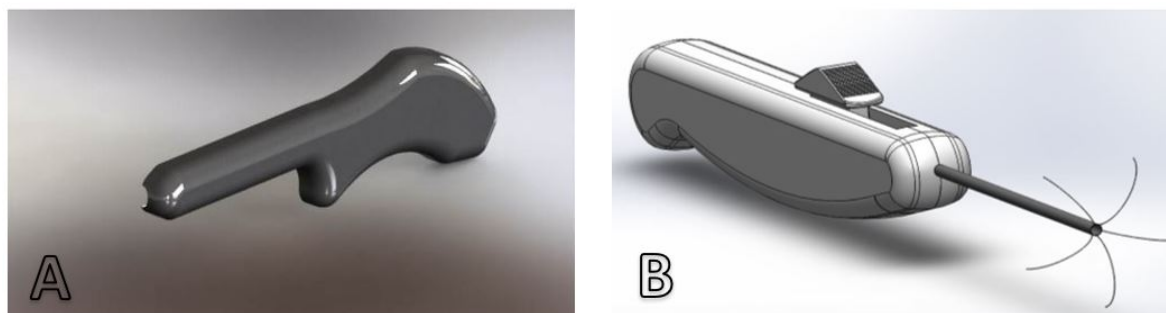


Figura 3 – Modelos de empunhaduras: A - Modelo de empunhadura proposto por Souza; B - Modelo de empunhadura proposta por Amaral. Adaptado de (SOUZA, 2016; AMARAL, 2017)

ria possível um controle automático do acionamento de eletrodos para procedimentos de ARF. Portanto, neste trabalho, busca-se utilizar um sistema similar para converter a força rotativa para axial de maneira a acionar o eletrodo através de *software*. O esquema de disposição dos elementos que compõe o sistema pode ser visualizado no diagrama de blocos na seção de metodologia Figura 4.

3 Metodologia

3.1 Processo de fabricação do sistema de acionamento automatizado

O dispositivo proposto neste trabalho apresenta uma estrutura desenvolvida de forma a acomodar o eletrodo da fabricante *Boston Scientific* modelo 4.0 (Figura 2 A). Ao iniciar a utilização, a rotação do eixo do motor de passo, anexado na extremidade, é transferida para o eletrodo, permitindo o acionamento das hastes. Para o funcionamento adequado, o sistema dispõe de um circuito eletrônico capaz de fornecer a corrente necessária, um microcontrolador e um programa de computador como *interface* para o usuário.

A Figura 4 esquematiza a disposição dos componentes do sistema proposto. O usuário informa ao sistema a profundidade desejada através da *interface* de interação. Além disso, é oferecida a possibilidade de configurar um protocolo misto de ensaio. Dessa maneira, o operador pode informar a profundidade e o tempo pelo qual deseja que o equipamento mantenha determinada posição e, a partir disso, compor o roteiro de ensaio com até 3 configurações diferentes. A *interface* se comunica com o microcontrolador ATmega328p, que comanda o circuito eletrônico responsável por acionar o motor de passo, que por sua vez, movimenta a estrutura manuseando o eletrodo de ablação.

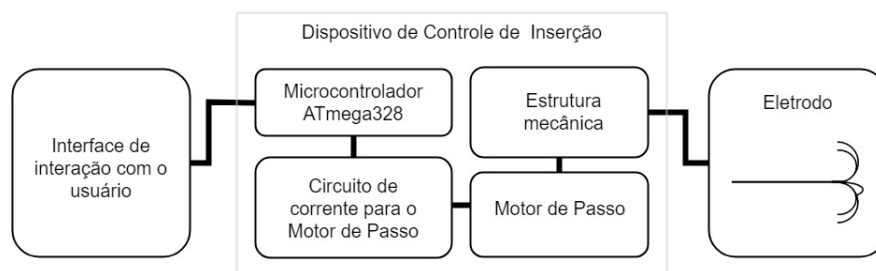


Figura 4 – Diagrama de blocos do sistema de inserção automatizado.

3.1.1 Protótipos estruturais

3.1.1.1 Primeiro protótipo

De forma a atingir os objetivos traçados para o sistema de acionamento, foi desenvolvido o primeiro protótipo com a motivação de testar a mecânica do dispositivo. Para isso, construiu-se um circuito utilizando o CI L293D que consiste em um *driver push-pull*

de 4 canais capaz de fornecer corrente de 600 *mA* por canal (MICROELECTRONICS, 1996).

O circuito alimenta um motor de passo unipolar que rotaciona um parafuso acoplado ao seu eixo. A partir dessa rotação, a estrutura desenhada no software *Autodesk Fusion 360 student's version* transforma a força rotativa em axial. A Figura 5 esquematiza o primeiro protótipo.

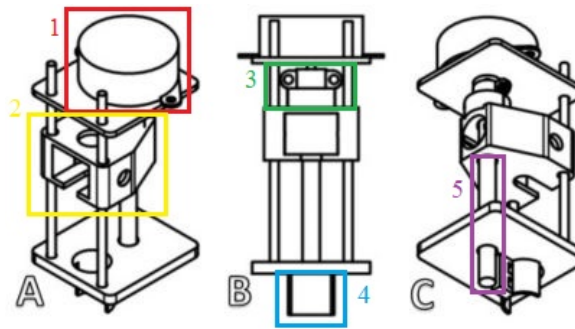


Figura 5 – Diferentes vistas do primeiro protótipo: A – Vista frontal em 3 dimensões; B – Vista frontal em 2 dimensões; C – Vista lateral em 3 dimensões. 1- Motor de passo unipolar; 2 – Peça de acoplamento ao eletrodo; 3 – Peça de fixação do eixo do motor ao parafuso; 4 – Suporte de fixação do eletrodo; 5 – Parafuso rotativo. Do autor

O eixo do motor de passo rotaciona uma peça de acoplamento do parafuso destacada pelo quadrado 3 na Figura 5 B. O parafuso, por sua vez, passa através da peça de acoplamento destacada no quadrado 2 na Figura 5 A. Essa peça detém cavidades para o encaixe do eletrodo.

Uma vez finalizado o projeto da estrutura, buscou-se imprimir as peças e dar início a montagem. Por se tratar de uma versão piloto do protótipo, utilizou-se, em sua maioria, peças reutilizadas de móveis, impressoras e dispositivos eletrônicos diversos.

O protótipo tem dimensões aproximadas de 4 *cm* x 4,5 *cm* x 8,3 *cm*, desconsiderando um pequeno suporte de fixação do eletrodo conforme ilustrado no quadrado 4 na Figura 5 B. Na Figura 6 é possível ver o sistema real montado.

3.1.1.2 Estrutura final

Após a realização dos testes mecânicos, foi possível identificar as possíveis melhorias e as necessidades de alteração do projeto. O motor foi substituído por um de maior torque de modelo NEMA 17 *JLB 17HS1352-P4130*. Também foi efetuada a substituição do parafuso rotativo por um fuso trapezoidal de 2 *mm* por passo. Alterou-se também a peça de acoplamento e a flange de latão inserida em seu interior. Além disso, adicionou-se um rolamento para melhorar o nivelamento do eixo e diminuir o atrito do fuso com a peça inferior.

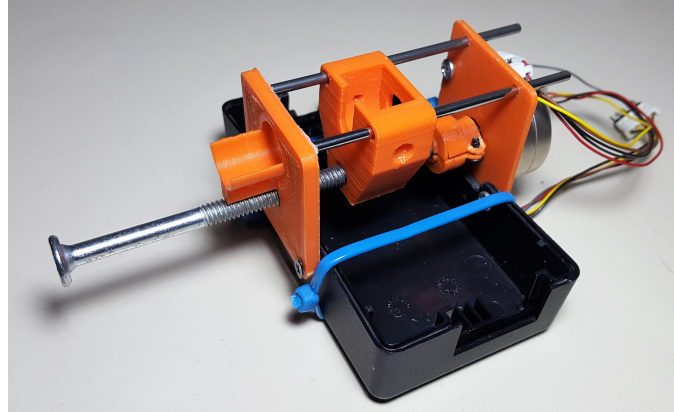


Figura 6 – Protótipo 1: resultado da montagem. Do autor.

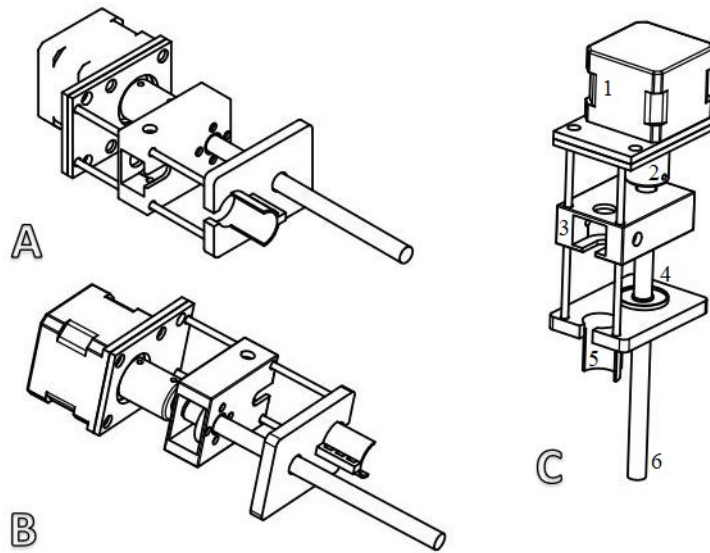


Figura 7 – Diferentes vistas da estrutura final. 1 – motor de passo JLB 17HS1352-P4130; 2 – Peça de fixação do fuso ao eixo do motor de passo; 3 – Peça de acoplamento do eletrodo; 4 – Rolamento; 5 – Estrutura de fixação do eletrodo; 6 – Fuso trapezoidal de 2 mm por passo. Do autor.

Em termos de estrutura, foram feitas adaptações, porém mantendo a ideia original. O sistema passou a ser montado em uma estrutura de madeira fixa. Por fim, forrou-se com papel EVA alguns pontos que entram em contato com o eletrodo e por baixo do sistema de forma a impedir que ele sofra deslocamento durante o procedimento.

3.1.2 Circuito eletrônico

O microcontrolador escolhido foi o *ATmega328P* utilizado em uma plataforma *Arduino Uno*. Esse microcontrolador dispõe de 28 pinos sendo 14 possíveis de serem utilizados como portas digitais de entrada e saída e 6 como portas analógicas. Possui também um conversor analógico-digital com resolução de 10 *bits* e apresenta 32 *kB* de memória *Flash*, 2 *kB* de memória RAM e 1 *kB* de EEPROM (OLIVEIRA et al., 2016).

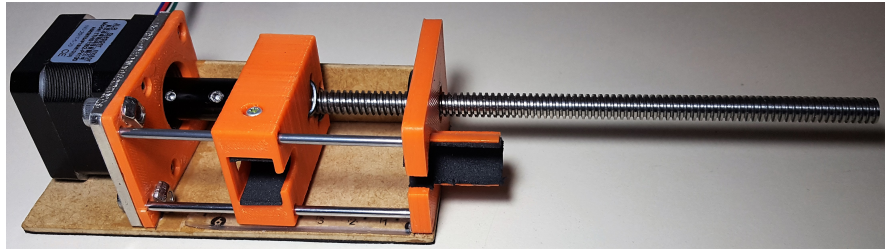


Figura 8 – Estrutura Final: resultado da montagem. Do autor.

Os pinos do microcontrolador podem fornecer uma corrente de até 40 mA . Entretanto, para a correta energização das bobinas do motor é necessário uma corrente de no mínimo 2 A e uma tensão entre 12 V e 24 V (LINEAR, 2017). Por esta razão, utiliza-se o driver A4988 para fornecer os 2 A de corrente para o funcionamento do motor de passo (Allegro Microsystems, 2017).

Uma vez que o *driver* escolhido providenciava as condições necessárias para o funcionamento do sistema, pode-se simplificar o circuito eletrônico, conforme ilustrado na Figura 9.

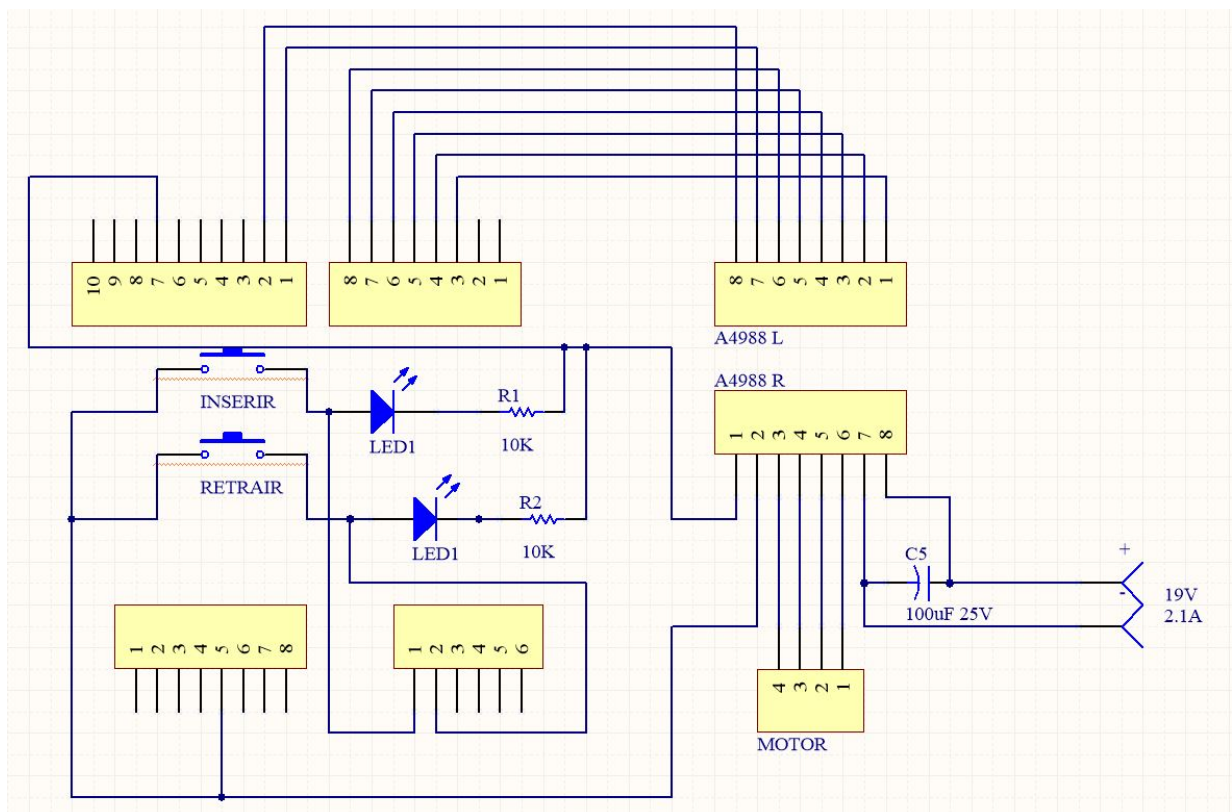


Figura 9 – Esquemático do circuito eletrônico de controle do dispositivo. Do autor.

Adicionalmente, o projeto prevê botões de calibração e LEDs indicadores nas cores verde (inserção) e vermelho (retração). Os botões são utilizados principalmente no início do procedimento para colocar o eletrodo em sua posição inicial com as hastes to-

talmente retraídas. O funcionamento desta parte do circuito sobrepõe o controle exercido pelo software, permitindo ao usuário retomar o controle do dispositivo mesmo durante o travamento da máquina utilizada para executar o programa do aparelho ou em outras situações onde for conveniente utilizá-los.

O programa de interface utiliza a porta serial para comunicação com o *ATmega328P* através do cabo USB. Essa comunicação traz o benefício de alimentar a plataforma dispensando uma fonte externa. Entretanto, como mencionado anteriormente, o motor de passo requer valores de corrente e de tensão superiores aos que são fornecidas através da porta USB. Sendo assim, foi necessário incluir no circuito pontos para fornecer uma alimentação externa com a capacidade de fornecer 19 V de tensão e 2,1 A de corrente. Por fim, para efeitos de filtragem da alimentação, adicionou-se um capacitor eletrolítico de 100 μF .

3.1.2.1 Criação da Placa de Circuito Impresso - PCI

Para a esquematização e roteamento da PCI foi utilizado o *software Altium Designer* versão 17. Na Figura 10, pode-se verificar as camadas de trilhas e de *labels* da placa.

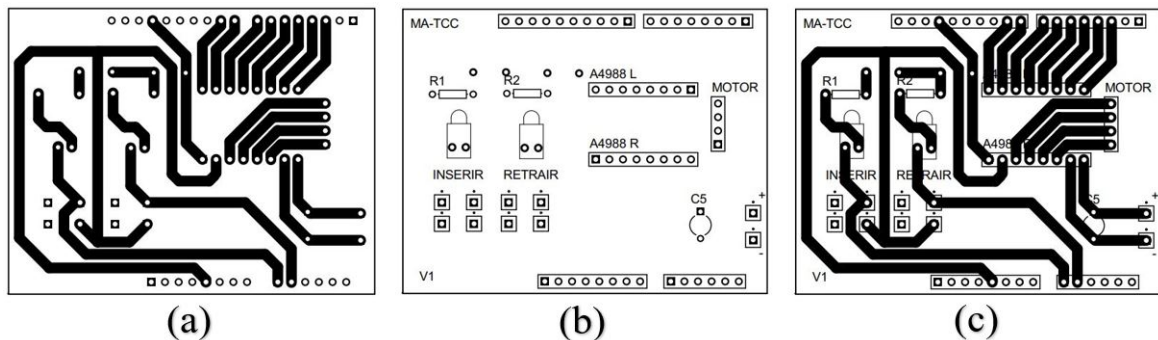


Figura 10 – A – camada inferior referente às trilhas do circuito; B – camada superior referente às *labels*; C – Camadas sobrepostas.

Para o método de transferência, utilizou-se álcool isopropílico 100% ou Isopropanol e acetona em uma mistura com uma concentração de 8 unidades para 3 unidades, respectivamente.

A confecção da placa ocorreu com os seguintes passos:

1. Imprimiu-se a camada inferior referente às trilhas do circuito e a superior referente aos nomes dos componentes em papel couchê 180g/m²
2. Limpou-se a placa de cobre com água corrente e detergente garantindo a eliminação de sujeira e camadas de gordura da superfície o que impediria a correta transferência do circuito;

3. A primeira transferência ocorreu na camada inferior utilizando a solução de álcool isopropílico e acetona. Essa foi aplicada na placa de cobre e depositou-se então o papel com as trilhas sobre uma superfície plana e fazendo uso de um peso adicional, aplicou-se uma força perpendicular à placa com cuidado para não deslocar o circuito durante o processo.
4. Após a transferência da camada inferior, levou-se a placa para corrosão em solução de Percloroeto de Ferro.
5. Uma vez terminada a corrosão das trilhas, cortou-se a placa em um retângulo de 5,4 cm por 6,86 cm nos limites do projeto.
6. Após isto, perfurou-se as ilhas da PCI para servir de guia para aplicação das *labels*.
7. Para a transferência das *labels*, utilizou-se o método de transferência térmica fazendo uso do ferro. Tomando cuidado para espelhar a imagem.
8. Após esses passos, a PCI estava pronta para ter os componentes soldados e testados.

Para a confecção desta PCI, atentou-se para que o projeto garantisse a ocupação do menor espaço possível e que dificultasse a ligação equivocada dos componentes. Isso vai ao encontro com o objetivo do trabalho, pois busca facilitar o uso do equipamento em um ambiente de testes. Por essa razão, a PCI apresentada neste projeto foi projetada para encaixar-se a plataforma Arduino Uno ou Arduino Mega.



Figura 11 – PCI finalizada montada na plataforma Arduino Uno. Do autor.

3.1.3 Programas de controle e interação

O controle do dispositivo é realizado via *software*. Na Figura 12 está ilustrado um fluxograma que evidencia o caminho dos dados na comunicação entre os dois sistemas. Existem dois programas para este dispositivo. O primeiro é referente ao código da interface gráfica em que o usuário pode inserir os valores dos parâmetros de profundidade e tempo nos campos adequados. Esse nível de programação tem a função de facilitar o controle do dispositivo, tornando mais intuitiva a passagem dos parâmetros. O segundo é referente ao código do microcontrolador *ATmega328P* desenvolvida em linguagem do Arduino. Em um nível mais baixo, este é o programa responsável pela lógica de energização das bobinas, de forma a movimentar o motor de passo, e, conseqüentemente, o dispositivo proposto.

A interface gráfica foi criada a partir do programa *Processing*. A linguagem é bastante similar à utilizada na programação da plataforma Arduino baseada em JAVA. Escolheu-se desenvolver apenas uma tela para a aplicação de forma a manter o perfil de fácil operação da ferramenta. Desta forma, o usuário ao iniciar a aplicação se depara com uma tela igual à da Figura 13. Uma vez aberta, pode-se escolher entre dois modos de operação: protocolo simples ou misto.

O código de controle do microcontrolador foi desenvolvido utilizando a biblioteca criada pelo cientista da computação e empresário Fernando Koyanagi (KOYANAGI, 2018). O programa conta com as configurações iniciais para o funcionamento do *driver A4988* e com adaptações exclusivas para esta aplicação. Esse se comunica com o programa da interface gráfica através da porta serial.

No protocolo simples, basta informar a profundidade desejada e pressionar o botão iniciar. A interface comunicará via serial com o microcontrolador efetuando o movimento. No centro da aplicação, há uma indicação visual da profundidade selecionada. No final da operação, basta selecionar o botão retrair que o dispositivo fará o processo inverso levando o eletrodo para posição inicial.

O protocolo misto permite ao operador configurar até três profundidades diferentes e informar o tempo, em segundos, que o aparelho manterá determinada profundidade. O método de configuração é similar do protocolo simples, excetuando os campos adicionais. Outra diferença é que ao findar o tempo da última condição programada, o eletrodo automaticamente retorna à posição inicial.

Pode-se verificar na Figura 12 a lógica para determinar se a profundidade informada pelo usuário será alcançada inserindo ou retraindo as hastes. Ou seja, caso o eletrodo esteja em uma posição diferente da inicial, o programa armazena a posição e apenas movimenta a distância restante para alcançar os parâmetros do usuário. O fluxograma apresentado demonstra a idéia por trás da programação. Os códigos poderão ser vistos na íntegra nos apêndices deste documento.

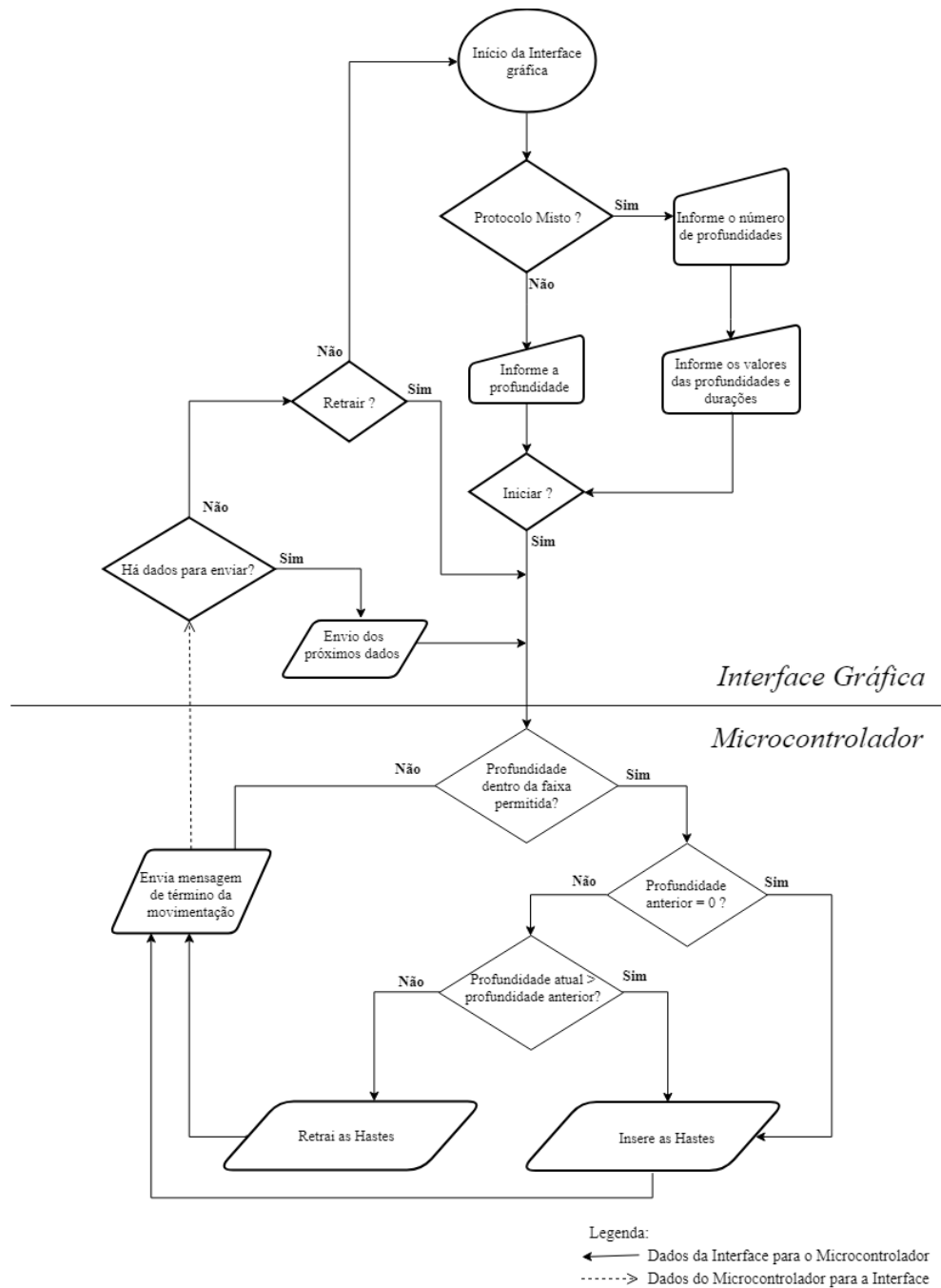


Figura 12 – Fluxograma de comunicação entre os *softwares* de controle do dispositivo. Do autor.

Como dito anteriormente, a manipulação manual do dispositivo através dos botões da PCI pode ser utilizada a qualquer momento e esta sobrepõe as movimentações através da *interface*. Vale ressaltar a necessidade de utilizar este artifício na calibração inicial do aparelho de maneira a posição inicial sempre corresponder ao eletrodo com as hastes totalmente retraídas, pois, caso contrário, o cálculo de profundidade sofrerá alterações.

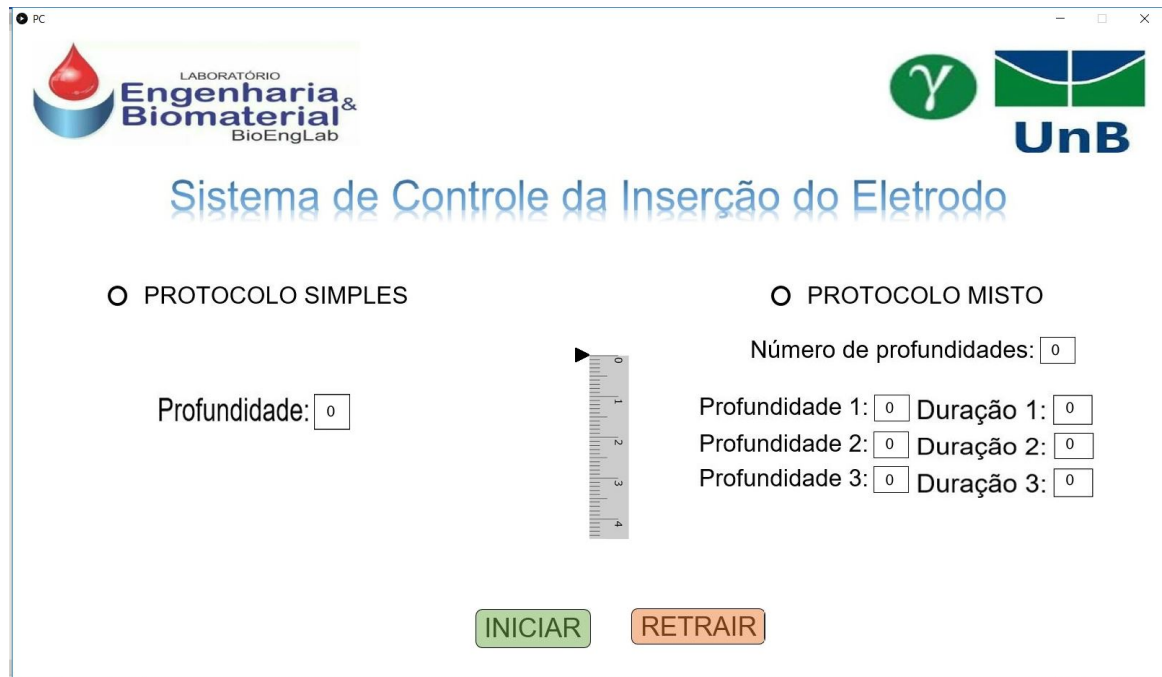


Figura 13 – Interface gráfica do programa de controle do dispositivo. Do autor.

3.2 Testes experimentais *ex vivo*

A junção dos produtos citados anteriormente, compõe o sistema em sua totalidade. A partir desse ponto, fez-se necessário determinar o protocolo a ser seguido para testar a funcionalidade e analisar o impacto do dispositivo.

Os testes foram realizados utilizando o gerador do equipamento SOFIA, um osciloscópio portátil Miniscope da marca Minipa com largura de banda de 25 MHz e taxa de amostragem de 200 MS/s e a ponta de prova sem atenuação (1x); uma balança analógica para pesagem das peças e o eletrodo de ablação da *Boston Scientific 4.0*. A Figura 14 demonstra os elementos utilizados na configuração da bancada durante os testes.

Este eletrodo, entretanto, dispunha de apenas 5 hastes devido ao seu uso contínuo e o seu caráter de ferramenta descartável. No entanto, foi dado prosseguimento ao trabalho mesmo com essa condição. A Figura 15 ilustra o dispositivo na condição mencionada.

3.2.1 Protocolo experimental

O protocolo estipulado foi baseado no mesmo utilizado no trabalho de (MARQUES, 2016). Este foi seguido para os testes com e sem o dispositivo. As condições ambientais não sofreram alterações durante os procedimentos. Os passos seguidos foram:

1. Foi adquirida a peça inteira de fígado bovino descongelada e mantida em temperatura ambiente durante toda a sessão de testes.

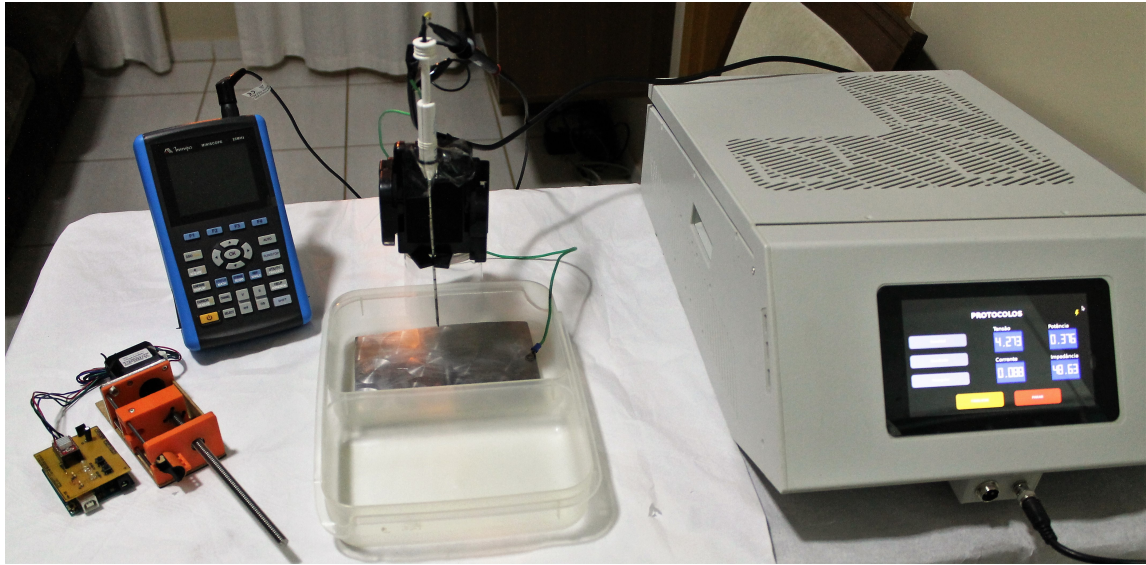


Figura 14 – Equipamentos utilizados durante os testes *ex vivo*. Do autor.



Figura 15 – Eletrodo de ablação *Boston Scientific* com 5 hastes. Do autor.

2. Foram feitos cortes em pequenos pedaços com um bisturi. O critério utilizado para essas peças foi de manter o tamanho adequado para inserção das hastes retirando das peças as veias que poderiam atrapalhar o procedimento.
3. A balança foi zerada utilizando para isto o sistema de calibração da própria. O erro instrumental da balança é de 0,5g. Buscou-se manter peças com massas em torno de 200g.
4. Os equipamentos eram higienizados antes e após cada procedimento de forma a evitar que impurezas influenciassem os resultados.
5. A montagem das bancadas para os testes com e sem o dispositivo divergiram no aspecto de posição do eletrodo. A Figura 16 demonstra a montagem para as duas situações.
6. O tempo foi monitorado utilizando o cronômetro de *smartphone*.
7. As medidas de tensão, corrente, potência e impedância foram monitoradas com o osciloscópio e através da tela do equipamento SOFIA.

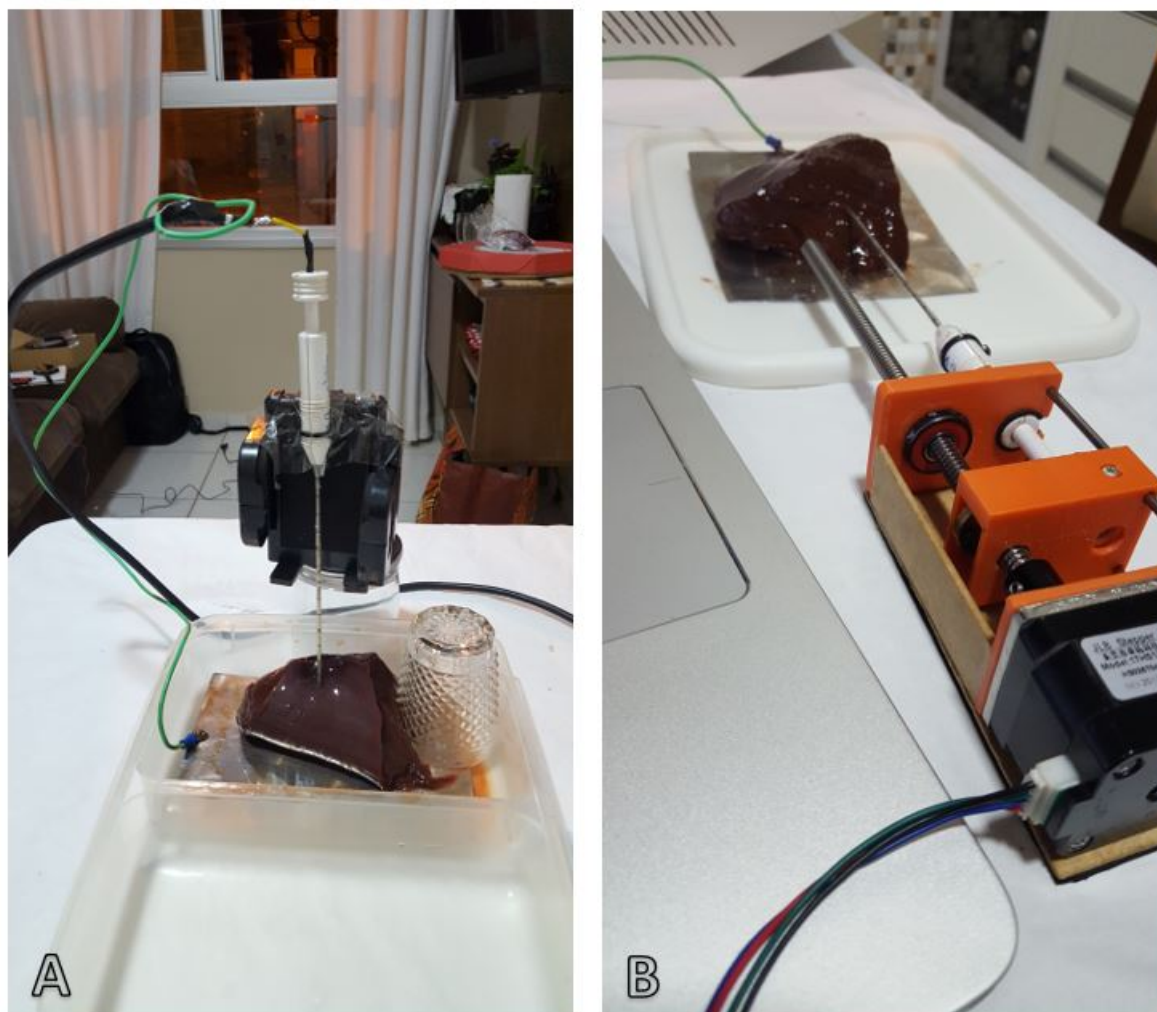


Figura 16 – A - Posicionamento do eletrodo para o teste *ex vivo* realizado sem o dispositivo; B - Posicionamento do eletrodo para o teste *ex vivo* realizado com o dispositivo. Do autor.

8. A inserção do eletrodo seguiu a disposição demonstrada na Figura 16. Para testes sem o dispositivo deste trabalho, foi feita a inserção manualmente até uma pequena marca feita no corpo do eletrodo. Para testes com o dispositivo, foi utilizada a interface para informar o valor desejado de 20 *mm*.
9. Utilizando planilhas montadas no programa Excel, foram anotadas as seguintes informações:
 - Hora de início, duração do procedimento e data;
 - Peso;
 - Potência e impedância a cada 20 segundos de andamento;
 - Indicação de ocorrência do evento *roll-off* que consiste na necrose de regiões adjacentes ao eletrodo dificultando a propagação do calor e, consequentemente, diminuindo a área de ablação (MARQUES, 2016);

- Medidas da zona de ablação.
10. Foram analisadas as zonas de ablação após o procedimento. A peça sofreu um corte longitudinal em cima do ponto de incidência do eletrodo e foram tomadas as medidas utilizando um paquímetro. A Figura 17 ilustra o sentido do corte realizado.

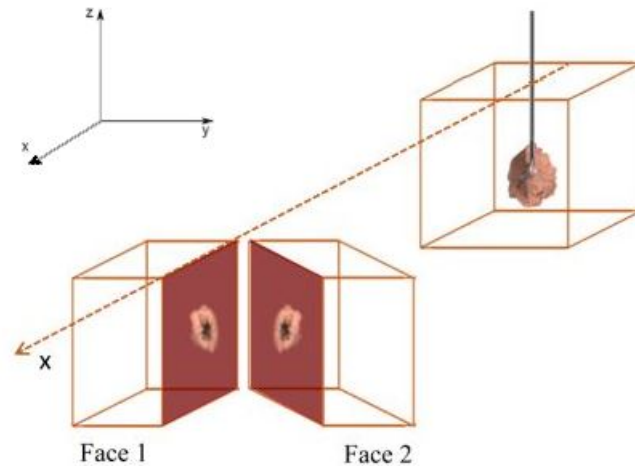


Figura 17 – Ilustração do corte longitudinal da peça de fígado bovino após o procedimento de ensaio de forma a tomar as medidas necessárias para a análise da área de ablação. Adaptado de (MARQUES, 2016).

11. Dado que o eletrodo não estava completo, foi estimada a zona de ablação a partir da maior área de queima. A fórmula utilizada para o cálculo da área foi $A = \pi * a * b$, sendo a correspondente a metade da medição no sentido do eixo x e b a metade da medição no sentido do eixo z .

4 Resultados e Discussão

4.1 Determinação do formato do eletrodo

A partir da análise do estado da arte, verificou-se que a grande maioria dos artigos encontrados relatam que os eletrodos expansíveis possuem vantagens em relação aos outros formatos. Portanto, essa informação levou a escolha entre dois tipos diferentes de geometrias: guarda-chuva e árvore de natal.

A literatura usa o termo eletrodos expansíveis para descrever um eletrodo de múltiplas hastes de maneira genérica. Dessa forma, buscou-se identificar os modelos de equipamentos utilizados e consequentemente a geometria de tais equipamentos. Por exemplo, os estudos relatados em (GOBARA et al., 2016; IHARA et al., 2016; LIU; ZHI, 2015; De Baère et al., 2015; WANG et al., 2015) utilizaram em suas pesquisas eletrodos *LeVeen* enquanto apenas (XIE et al., 2017) utilizou o eletrodo *Starburst*.

Frente a análise deste grupo de estudos, escolheu-se os eletrodos em formato guarda-chuva, pois, como descrito anteriormente, o volume de ablação alcançado com essa geometria é superior às outras sem fazer uso de um sistema de resfriamento interno ou técnicas de *overlapping* (MARQUES, 2016). Além disso, essa geometria promove uma boa fixação no tumor de forma a impedir o deslocamento do dispositivo durante o movimento dos pulmões com a respiração espontânea (LIU; ZHI, 2015; SMITH; JENNINGS, 2015).

4.2 Testes mecânicos do sistema de acionamento

O primeiro teste mecânico utilizou o dispositivo chamado de protótipo 1 da Figura 5. Foi utilizado para os testes o eletrodo da fabricante *Boston Scientific* modelo 4.0 e foi escolhido o chuchu para os primeiros testes. Esta escolha do chuchu foi baseada no trabalho de (JUNIOR, 2004).

Apesar de o protótipo ter conseguido inserir as hastes satisfatoriamente, não foi possível fazer o recolhimento de volta à cânula. Dessa forma, inferiu-se que o motor de passo escolhido não tivera força suficiente para efetuar o manuseio adequado do eletrodo.

Nesse primeiro ensaio, o principal objetivo foi identificar se o sistema seria adequado para movimentação das hastes. Por essa razão, não foi implementado um controle preciso da inserção. A Figura 18 apresenta o eletrodo acoplado ao sistema e uma das inserções realizadas.

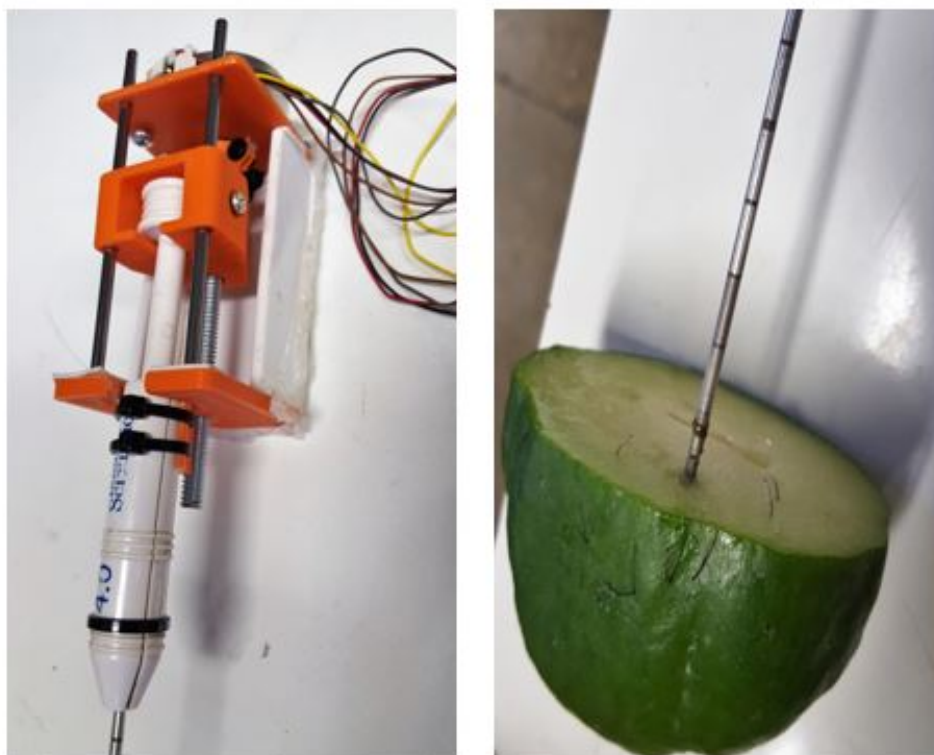


Figura 18 – Eletrodo comercial acoplado ao primeiro protótipo e teste de inserção realizado no chuchu. Do autor.

4.3 O produto final da construção

Após os ajustes efetuados com as anotações do teste mecânico, chegou-se a um protótipo final com a capacidade de inserir e retrainr com facilidade as hastes do eletrodo em uma amostra de fígado bovino. Além disso, o dispositivo eliminou a necessidade de limitadores externos, como fitas adesivas ou outros aparatos que permitiam a fixação da empunhadura do equipamento, para manter o eletrodo em uma posição específica durante o procedimento de teste. Outro benefício do sistema é sua versatilidade, que permite efetuar montagens de bancada com o eletrodo tanto na posição horizontal quanto na vertical.

Em termos de estrutura, vale ressaltar que, diferentemente do eletrodo, o dispositivo não tem caráter descartável, podendo ser utilizado em outras ferramentas de ablação com a mesma empunhadura, conforme visto na Figura 19. Embora, não seja particularmente difícil alterar o projeto para englobar empunhaduras diferentes. Projetos futuros poderão partir da necessidade de utilizar outros tipos de eletrodo.

O circuito projetado para o sistema tem dimensões que se assemelham aos módulos (*SHIELDS*) comerciais de plataforma Arduino. Isso é uma vantagem, dado que durante a realização dos testes, pode existir uma necessidade de espaço para alocação dos outros materiais. E também, por ter sido feito para o encaixe perfeito na plataforma, possui uma

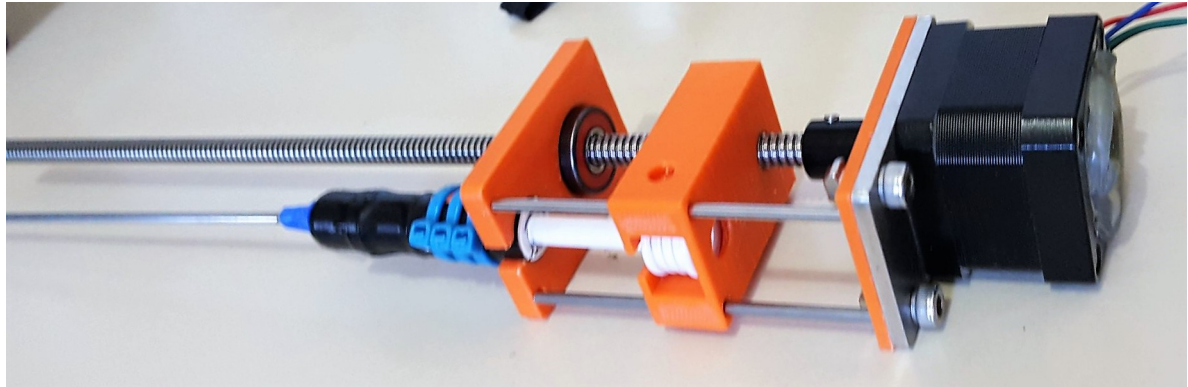


Figura 19 – Eletrodo de 5 hastes desenvolvido por (MARQUES, 2016) acoplado no dispositivo desenvolvido. Do autor.

baixa probabilidade de erro.

O custo manteve-se pequeno, como demonstrado na Tabela 1, e a facilidade de replicar o sistema é alta.

O *software* do sistema foi desenvolvido pensando na facilidade de operação. Por ser um protótipo piloto na direção da solução do problema proposto, ainda há funcionalidades que podem ser melhoradas ou incluídas. Mas, para o nível de usabilidade presente no momento, a tela de interação com o usuário mostra-se satisfatória e atende bem às primeiras demandas.

Tabela 1 – Custo dos materiais utilizados na confecção do sistema de acionamento das hastes. Valores referentes à aquisição em empresas locais e através da internet.

Produto	Quantidade	Valor Unitário
Nema 17	1	R\$ 89,90
Acoplamento	1	R\$ 15,90
Fuso trapezoidal + flange de latão	1	R\$ 49,90
Rolamento	1	R\$ 1,00
Impressão em ABS	1	R\$ 25,00
Material EVA	1	R\$ 2,10
Folha de madeira	1	R\$ 13,70
<i>Driver A4988</i>	1	R\$ 9,99
Arduino Uno	1	R\$ 35,90
Fonte de alimentação	1	R\$ 39,90
Componentes eletrônicos	1	R\$ 16,44
Total		R\$ 299,73

4.4 Testes *ex vivo*

A partir dos testes *ex vivo*, foram avaliadas as áreas de ablação para os procedimentos realizados com e sem o dispositivo desenvolvido. Nessa avaliação, buscou-se a relação entre a área de ablação e o uso do dispositivo desenvolvido neste trabalho. As amostras foram obtidas da mesma peça de fígado bovino e mantidas com as mesmas condições ambientais de forma a aumentar a similaridade entre elas. Para cada procedimento foram separadas 3 peças com massas em torno de 200 g e evitando regiões do fígado onde havia passagem de veias.

As configurações do equipamento SOFIA seguiram o protocolo descrito em (MARQUES, 2016) em relação à potência pré-fixada em 40 W. Entretanto, estipulou-se que o teste seria realizado até a ocorrência de *roll-off*.

Para as amostras utilizadas no procedimento sem o sistema, atribuiu-se o código de SD1, SD2 e SD3. Para as amostras que foram submetidas ao sistema, utilizou-se CD1, CD2 e CD3. A Figura 20 ilustra as peças após os procedimentos.

As áreas calculadas para o primeiro grupo estão descritas na Tabela 2 e para o segundo grupo na Tabela 3. Os valores dos diâmetros foram aferidos com um paquímetro, seguindo critério de maior distância para ambos os eixos. A Figura 21 esquematiza esta medição. Além disso, as tabelas trazem informações do tempo de procedimento até a ocorrência do *roll-off*.

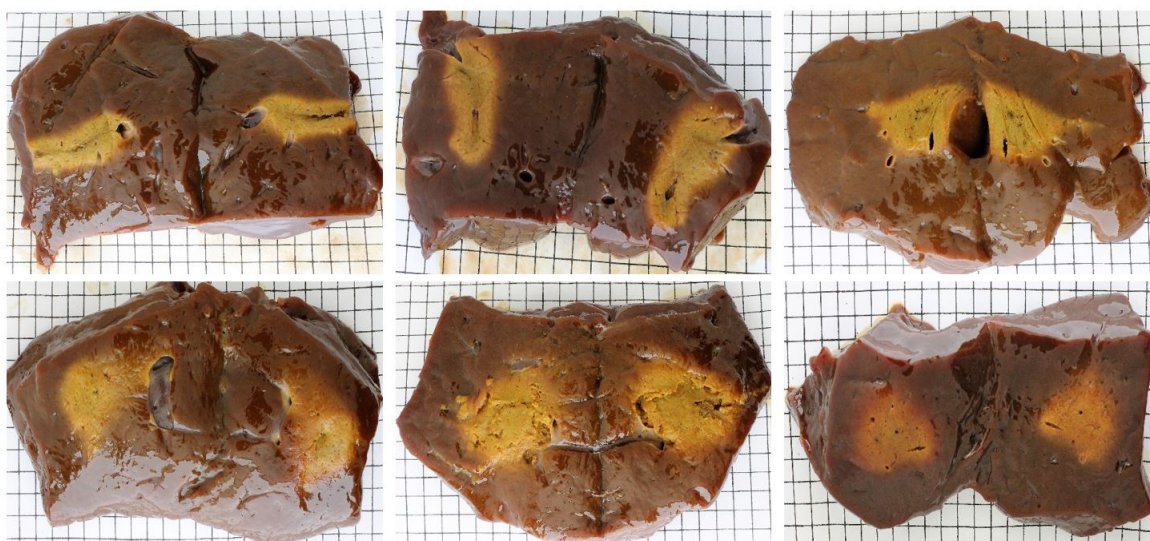


Figura 20 – Peças de fígado bovino- Amostras SD1, SD2 e SD3 na parte superior; CD1, CD2 e CD3 na parte inferior. Do autor

Tabela 2 – Teste realizado sem o dispositivo

	Peso [g]	a [mm]	b [mm]	Área [mm²]	Duração [s]
<i>Amostra SD1</i>	200	7,125	7,800	174,594	50
<i>Amostra SD2</i>	200	7,350	6,925	159,903	33
<i>Amostra SD3</i>	260	8,775	10,850	299,107	72

Tabela 3 – Teste realizado com o dispositivo

	Peso [g]	a [mm]	b [mm]	Área [mm²]	Duração [s]
<i>Amostra CD1</i>	200	7,325	11,850	272,694	112
<i>Amostra CD2</i>	240	9,000	12,125	342,826	116
<i>Amostra CD3</i>	200	12,750	8,450	338,467	202

Foi observado que fazendo uso do dispositivo o tempo até a ocorrência do evento de *roll-off* foi maior, o que pode explicar o aumento na área de ablação. Pode-se notar que o desvio padrão no tempo de ensaio foi menor fazendo uso do sistema. Isso pode ser explicado devido à estrutura prover uma maior chance de reprodutibilidade em termos de posicionamento de eletrodo entre as amostras que a utilizaram. Na perspectiva do teste sem o equipamento, a cada vez que um novo procedimento estava para ser realizado era necessário inserir o eletrodo manualmente na amostra. Isso adiciona ao protocolo a possibilidade de falha humana em recolocar o eletrodo exatamente da forma como foi posicionado para a peça anterior.

Em média, a área de ablação foi maior utilizando o equipamento. Entretanto, em uma das peças sem o dispositivo, a área foi da mesma ordem das que o utilizaram, ultrapassando inclusive a área da primeira amostra com o sistema. A partir desse resultado, infere-se que o dispositivo não promove o aumento da área de ablação, mas, possivelmente, aumenta estatisticamente as chances de alcançar maiores resultados. A explicação recai novamente à maior capacidade de replicar a condição de ensaio para as amostras.

O cálculo para estimar a área foi realizado fazendo uma aproximação pela área de uma elipse. Entretanto, devido às formas geométricas não euclidianas que o volume ablado pode assumir, existe uma variação muito grande na determinação exata desta grandeza. Esse é outro motivo que impede de afirmar que o dispositivo criado teve uma participação direta no resultado das áreas. Nesse aspecto, trabalhos futuros poderão utilizar algoritmos computacionais capazes de embasar argumentos para esta indagação. Apesar disso, o uso do dispositivo é notavelmente promissor aos ensaios *ex vivo*. A partir dos dados coletados e suas interpretações, nota-se que seu uso traz benefícios para a prática que superam qualquer prejuízo que o sistema possa proporcionar.

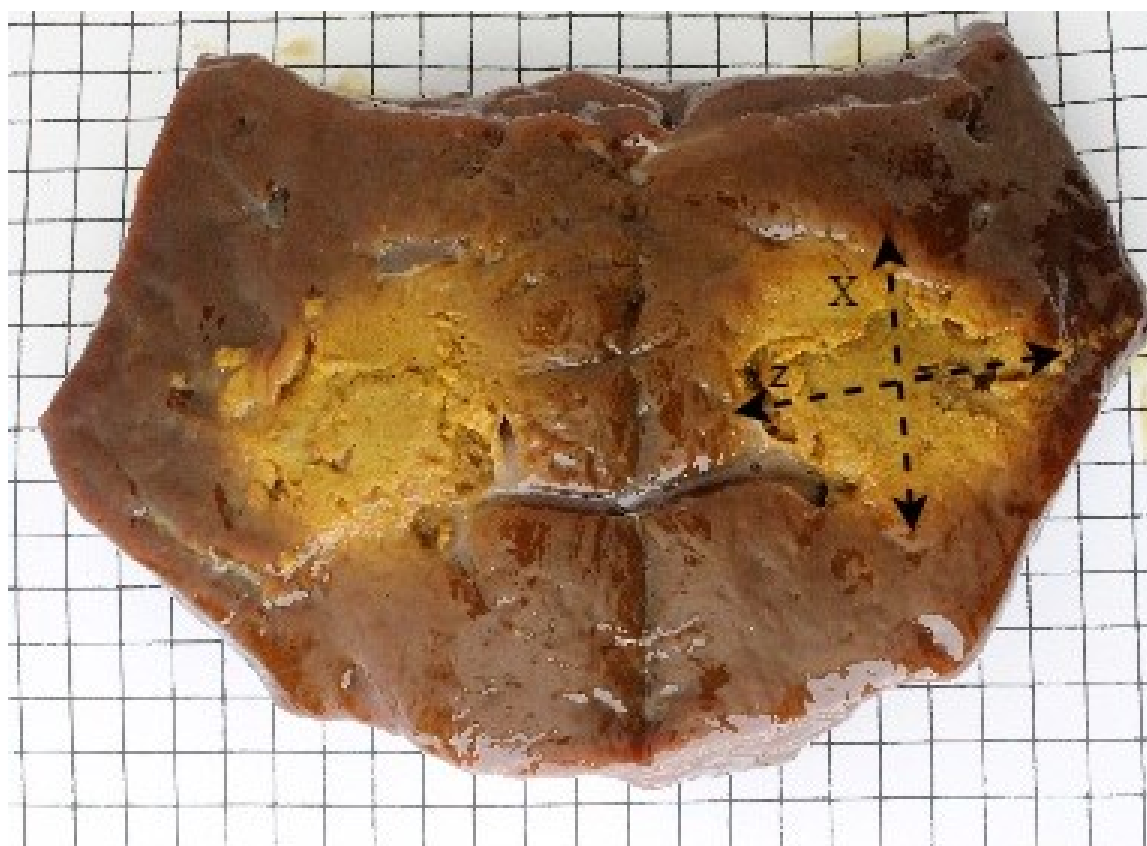


Figura 21 – Peça de fígado bovino - amostra CD2. Marcações dos eixos x e z exemplificando o critério utilizado para medição dos diâmetros. Quadrados com lados iguais a 1 cm. Do autor

5 Conclusões

5.1 Considerações finais

A análise de um número pequeno de estudos não é suficiente para inferir qual geometria de eletrodo é mais adequada ou até mesmo mais utilizada, embora essa estratégia indique que os eletrodos guarda-chuva sejam mais frequentes em estudos. Todavia, com base em informações dos próprios fabricantes, pode-se verificar que tanto o modelo *StarBurst XL RFA Device* produzido pela *AngioDynamics* quanto o modelo *LeVeen Standard Needle Electrode System* produzido pela *Boston Scientific* possuem diâmetros que variam entre 3 a 5 cm.

Com isso, mesmo que o eletrodo *StarBurst* se apresente como o eletrodo mais utilizado em uma análise considerando um número maior de estudos, suas características são muito similares ao do eletrodo *LeVeen*. Dessa forma, pode-se escolher o formato guarda-chuva sem a necessidade de análises mais minuciosas a respeito das diferenças entre as duas geometrias.

Os resultados da construção do dispositivo culminaram em um produto que atende aos requisitos levantados durante a idealização do projeto. No entanto, a maior dificuldade residuiu na concepção das diferentes partes que integram o sistema. Apesar disso, foi possível desenvolver soluções simples, criativas e efetivas que demandaram conhecimentos abrangendo *hardware* e *software* e que são comuns em problemas de engenharia.

Após finalizado, o sistema demonstrou ser de fácil operação, montagem intuitiva e funcionamento eficiente. Isto foi resultado do levantamento de requisitos do projeto que visaram facilitar o manuseio pelo usuário final do produto. Adicionalmente, o dispositivo conta com a vantagem de não ocupar muito espaço físico na bancada. E ainda, com os resultados coletados dos testes realizados em fígado bovino, pode-se verificar que o seu uso aumenta a chance de sucesso dos experimentos *ex vivo*.

Seria necessário realizar testes com um número de amostras mais expressivo para determinar precisamente a influência do equipamento na área de ablação. Contudo, o dispositivo traz melhorias em relação à reprodutibilidade dos protocolos. No meio científico, isso aumenta a confiabilidade nos resultados e, conseqüentemente, contribui para elevar a qualidade das pesquisas desenvolvidas. Portanto, a contribuição deste trabalho pode vir a somar com outras iniciativas e proporcionar aos pesquisadores da área de Engenharia Biomédica ferramentas valiosas para serem utilizadas no desenvolvimento de seus trabalhos.

5.2 Trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, pode-se considerar efetuar mais testes para validação da eficiência do dispositivo. Além de incluir outros órgãos que possam ser submetidos ao tratamento de ARF, como o pulmão, por exemplo.

Em termos de estrutura, pode-se desenvolver um aparato capaz de manter o sistema na posição vertical. Dessa forma, o usuário se beneficiará de mais um modo de teste sem ter de utilizar outros equipamentos para isto. Como mencionado anteriormente, há a possibilidade de alteração do projeto para permitir o uso de eletrodos de diferentes empunhaduras.

Na parte de *software*, existe o campo onde há maiores possibilidades de melhoria. O programa desenvolvido inclui funcionalidades básicas, dando margem para ser criadas outras funções e implementadas em seu algoritmo. Pode-se, ainda, melhorar o *feedback* visual do sistema, permitindo ao usuário uma experiência ainda mais agradável ao utilizar a plataforma. Por fim, pode-se considerar utilizar diferentes linguagens que possam acelerar o uso do programa por permitir um tamanho menor para a aplicação.

Finalmente, uma contribuição significativa seria utilizar esse sistema na construção de um novo eletrodo. Dessa forma, levaria uma maior precisão para a sala cirúrgica. E, possivelmente, melhorar o desempenho dos procedimentos que utilizam a técnica de ARF.

Referências

- AKHAN, O. et al. Radiofrequency ablation for lung tumors: outcomes, effects on survival, and prognostic factors. *Diagnostic and Interventional Radiology*, v. 22, n. 1, p. 65–71, 2015. ISSN 13053825. Disponível em: <<http://www.dirjournal.org/sayilar/80/buyuk/65-71.pdf>>. Citado na página 15.
- Allegro Microsystems, L. DMOS Microstepping Driver with Translator And Overcurrent Protection DMOS Microstepping Driver with Translator And Overcurrent Protection. p. 1–22, 2017. Disponível em: <www.allegromicro.com>. Citado na página 26.
- AMARAL, G. O. do. Pesquisa e Inovação em Saúde para o tratamento do Carcinoma Hepatocelular (CHC): Estudo do eletrodo de 5 hastes com sensor de temperatura embutido. 2017. Citado 3 vezes nas páginas 9, 21 e 22.
- ANGIODYNAMICS. the Ultimate in. 2010. Disponível em: <<http://intl.angiodynamics.com/sites/default/files/products/MLC341US.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 21.
- BABA, Y. et al. Radiofrequency ablation for pulmonary metastases from gastrointestinal cancers. *Annals of thoracic and cardiovascular surgery : official journal of the Association of Thoracic and Cardiovascular Surgeons of Asia*, v. 20, n. 2, p. 99–105, 2014. ISSN 2186-1005 (Electronic). Citado na página 15.
- BHATIA, S. et al. Radiofrequency ablation in primary non-small cell lung cancer: What a radiologist needs to know. *The Indian journal of radiology & imaging*, v. 26, n. 1, p. 81–91, 2016. ISSN 0971-3026 (Print). Citado na página 18.
- Christopher, Pearson; Garabedian, Robert; RIOUX, R. F. *United States Patent - Patent No US 8632538B2*. 2014. 1–7 p. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 21.
- De Baère, T. et al. Radiofrequency ablation is a valid treatment option for lung metastases: Experience in 566 patients with 1037 metastases. *Annals of Oncology*, v. 26, n. 5, p. 987–991, 2015. ISSN 15698041. Citado na página 35.
- FERLAY, J. et al. Cancer incidence and mortality worldwide: Sources, methods and major patterns in GLOBOCAN 2012. *International Journal of Cancer*, v. 136, n. 5, p. E359–E386, 2015. ISSN 10970215. Citado na página 15.
- GOBARA, H. et al. Percutaneous radiofrequency ablation for patients with malignant lung tumors: a phase II prospective multicenter study (JIVROSG-0702). *Japanese Journal of Radiology*, Springer Japan, v. 34, n. 8, p. 556–563, 2016. ISSN 1867108X. Citado na página 35.
- HIRAKI, T. et al. Radiofrequency ablation as treatment for pulmonary metastasis of colorectal cancer. *World Journal of Gastroenterology*, v. 20, n. 4, p. 988–996, 2014. ISSN 10079327. Citado 3 vezes nas páginas 15, 19 e 20.
- HIRAKI, T. et al. Risk factors for local progression after percutaneous radiofrequency ablation of lung tumors: Evaluation based on a preliminary review of 342 tumors. *Cancer*, v. 107, n. 12, p. 2873–2880, 2006. ISSN 0008543X. Citado na página 20.

- IHARA, H. et al. Radiofrequency ablation of lung tumors using a multitined expandable electrode: Impact of the electrode array diameter on local tumor progression. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, Elsevier, v. 27, n. 1, p. 87–95, 2016. ISSN 15357732. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jvir.2015.07.025>>. Citado 3 vezes nas páginas 18, 20 e 35.
- JUNIOR, B. S. *ESTUDO TEÓRICO-PRÁTICO DE PARÂMETROS TÉCNICOS E FISIOLÓGICOS UTILIZADOS EM ELETROCIRURGIA, VISANDO A OTIMIZAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO E PERFORMANCE DE UM BISTURI ELETRÔNICO*. Tese (Doutorado), 2004. Citado na página 35.
- KODAMA, H. et al. Radiofrequency ablation for ground-glass opacity-dominant lung adenocarcinoma. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, Elsevier, v. 25, n. 3, p. 333–339, 2014. ISSN 10510443. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jvir.2013.11.035>>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 20.
- KOYANAGI, F. *Sobre Fernando K.* 2018. Disponível em: <<https://www.fernandok.com/p/sobre-fernando-k.html>>. Citado na página 29.
- LINEAR, P. NEMA 17 Stepper Motor. v. 6200490, p. 2–5, 2017. Citado na página 26.
- LIU, B. D.; ZHI, X. Y. Expert consensus on image-guided radiofrequency ablation of pulmonary tumors-2015 edition. *Journal of Thoracic Disease*, v. 7, n. 5, p. E148–E159, 2015. ISSN 20776624. Citado 4 vezes nas páginas 15, 18, 19 e 35.
- MARQUES, M. P. Eletrodo De Níquel-Titânio Guiado Por Imagem Eletrodo De Níquel-Titânio Guiado Por Imagem. 2016. Citado 12 vezes nas páginas 10, 16, 18, 19, 20, 21, 31, 33, 34, 35, 37 e 38.
- MICROELECTRONICS, S. T. L293D PUSH-PULL FOUR CHANNEL DRIVER WITH DIODES. *Datasheet*, n. June, p. 1–7, 1996. Citado na página 24.
- MULIER, S. et al. Electrodes and multiple electrode systems for radio frequency ablation: A proposal for updated terminology. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, v. 574, n. May 2005, p. 57–73, 2006. ISSN 00652598. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 19.
- OLIVEIRA, J. H. de et al. Modelagem de dispositivo para inserção de eletrodos em procedimento de ablação em hepatocelular carcinoma via técnica bond graph. *Revista Brasileira de Inovação Tecnológica em Saúde*, v. 6, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 25.
- POULOU, L. S. et al. Percutaneous microwave ablation vs radiofrequency ablation in the treatment of hepatocellular carcinoma. v. 7, n. 8, p. 1054–1063, 2015. Citado na página 15.
- SÁ, V. K. de et al. Lung cancer in Brazil: epidemiology and treatment challenges. *Lung Cancer (Auckland, N.Z.)*, v. 7, p. 141–148, 2016. ISSN 1179-2728. Citado na página 15.
- SCIENTIFIC, C. B. RFA Family Brochure. *Product Guide*, 2013. Disponível em: <<https://www.bostonscientific.com/content/dam/bostonscientific/pi/portfolio-group/rfa/RFA-Family-Brochure-ENDO-149636-AA.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 21.

- SMITH, S. L.; JENNINGS, P. E. Lung radiofrequency and microwave ablation: A review of indications, techniques and post-procedural imaging appearances. *British Journal of Radiology*, v. 88, n. 1046, 2015. ISSN 00071285. Citado 3 vezes nas páginas 15, 20 e 35.
- SOUZA, A. D. S. de. Análise Do Balanço De Energia E. 2016. Citado 3 vezes nas páginas 9, 21 e 22.
- WANG, Y. et al. Radiofrequency ablation of advanced lung tumors: Imaging features, local control, and follow-up protocol. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*, v. 8, n. 10, p. 18137–18143, 2015. ISSN 19405901. Citado na página 35.
- XIE, F. et al. Navigation Bronchoscopy-Guided Radiofrequency Ablation for Nonsurgical Peripheral Pulmonary Tumors. *Respiration*, v. 94, n. 3, p. 293–298, 2017. ISSN 14230356. Citado 4 vezes nas páginas 15, 18, 19 e 35.

Apêndices

APÊNDICE A – Programa de controle

```

1  #include <StepDriver.h> // Biblioteca desenvolvida por Fernando Koyanagi. Disponível em www.fernandok.com
2
3  A4988 d1;
4
5  int valorAnterior = 0, valor_recebido = 0;
6
7  void setup(){
8      Serial.begin(9600);
9
10     pinMode(A0, INPUT);
11     pinMode(A1, INPUT);
12
13     // Definições das Portas Digitais do Arduino relacionadas ao chip A4988(enable, M0, M1, M2, reset, sleep, step, direction)
14     d1.pinConfig(2,3,4,5,6,7,8,9);
15
16     //Habilita as saídas do chip A4988
17     d1.enable(HIGH);
18     //Desabilita o modo sleep
19     d1.sleep(LOW);
20     //Ativa o pino reset do chip A4988
21     d1.reset();
22
23     //Define quantos passos o motor realiza por volta
24     // d1.stepPerRound(200);
25     d1.stepPerRound(100);
26
27     //Define quantos passos o motor realiza por milímetro
28     d1.stepPerMm(100);
29
30     //Essa função define:
31     // - O aumento(aceleração) ou diminuição(desaceleração) em microssegundos entre os passos do motor
32     // - A velocidade máxima (tempo mínimo em microssegundos entre os passos do motor)
33     // - A velocidade mínima (tempo máximo em microssegundos entre os passos do motor)
34
35     //O valor da velocidade é inversamente proporcional à velocidade do motor (quanto menor o valor, mais rápido o motor se move)
36     //A velocidade Mínima é usada como velocidade inicial do motor antes da aceleração, ou seja, o motor começa com a velocidade mínima
37     //O valor da velocidade mínima não pode ser menor que a velocidade máxima

```

```

38     //A aceleração do motor é proporcional a velocidade mínima, quanto maior o valor da velocidade mínima maior deve ser o valor da
39     //d1.motionConfig(20,500,5000);
40     d1.motionConfig(20,350,3500);
41
42
43     //define os pinos dos sensores fim de curso( mínimo, máximo) e se são ativados em nível alto ou baixo
44     d1.endstopConfig(12,13, LOW);
45
46     //Ajusta o Modo de passo do chip A4988:
47     //1 = passo inteiro
48     //2 = passo 1/2
49     //4 = passo 1/4
50     //8 = passo 1/8
51     //16 = passo 1/16
52     d1.stepConfig(1);
53 }
54
55 void movimentaMotor(int profundidade)
56 {
57     if(valorAnterior == 0 )
58     {
59         d1.motorMoveTo(profundidade, HIGH);
60         valorAnterior = valorAnterior + profundidade;
61     }
62     else if (valorAnterior != 0)
63     {
64         if (profundidade > valorAnterior)
65         {
66
67             profundidade = profundidade - valorAnterior;
68             valorAnterior = valorAnterior+profundidade;
69             d1.motorMoveTo(profundidade, HIGH);
70         }
71         else if (profundidade < valorAnterior)
72         {
73             profundidade = valorAnterior - profundidade;
74             valorAnterior = valorAnterior - profundidade;

```

```
75         d1.motorMoveTo(profundidade, LOW);
76     }
77
78 }
79 }
80
81 void loop(){
82
83     if(analogRead(A0) > 512)
84     {
85         d1.motorMoveTo(1, HIGH);
86     }
87     else if(analogRead(A1) > 512)
88     {
89         d1.motorMoveTo(1, LOW);
90     }
91
92     if (Serial.available())
93     {
94         valor_recebido = Serial.read();
95
96         if (valor_recebido <= 35 && valor_recebido >= 0 )
97         {
98             movimentaMotor(valor_recebido);
99         }
100
101         Serial.write('d'); //sinaliza à interface que a movimentação aconteceu
102         valor_recebido = 0;
103     }
104 }
105
106 }
```

APÊNDICE B – Programa da *Interface*

```

1  import processing.serial.*; //Importa a biblioteca para abrir uma comunicação Serial
2  Serial myPort; //Instância a biblioteca para a comunicação Serial
3
4  //Cria uma instância para cada imagem da interface
5  PImage fundo; //Background
6
7  PImage protocoloSimples; //Campo de selecionar o protocolo simples
8  PImage protocoloSimplesSelecionado; //Campo selecionado: protocolo simples
9  PImage profundidadeSimples; //Campo para inserir o valor da profundidade do Protocolo Simples
10 PImage profundidadeSimplesC; //Campo para inserir o valor da profundidade do Protocolo Simples
11
12
13 PImage protocoloMisto; //Campo de selecionar o protocolo misto
14 PImage protocoloMistoSelecionado; //Campo selecionado: protocolo misto
15 PImage protocoloMistoPergunta; //Campo para inserir quantas profundidades
16 PImage protocoloMistoPerguntaS; //Campo selecionado: pergunta do protocolo
17
18
19 PImage profundidadeMisto3; //Campo para inserir o valor das 3 profundidades do Protocolo Misto
20 PImage profundidadeMisto3S; //Campo para inserir o valor das 3 profundidades do Protocolo Misto
21 PImage profundidadeMisto2; //Campo para inserir o valor das 2 profundidades do Protocolo Misto
22 PImage profundidadeMisto2S; //Campo para inserir o valor das 2 profundidades do Protocolo Misto
23 PImage profundidadeMisto1; //Campo para inserir o valor das 1 profundidades do Protocolo Misto
24 PImage profundidadeMisto1S; //Campo para inserir o valor das 1 profundidades do Protocolo Misto
25 PImage duracao1;
26 PImage duracao1S;
27 PImage duracao2;
28 PImage duracao2S;
29 PImage duracao3;
30 PImage duracao3S;

```

```

31
32
33 PImage botaoIniciar; //botão iniciar desativado
34 PImage botaoIniciarAtivado; //botão iniciar ativado
35 PImage botaoRetrair; //botão retrair desativado
36 PImage botaoRetrairAtivado; //botão iniciar ativado
37
38 PImage escala; //Escala dos mm
39 PImage triangulo; //Apontador
40
41 boolean habilitaProtocoloSimples = false; //Cria uma variável para habilitar o protocolo Simples
42 boolean habilitaProtocoloMisto = false; //Cria uma variável para habilitar o protocolo Misto
43 boolean habilitaIniciar = false;
44 boolean habilitaRetrair = false;
45 boolean habilitaProfundidadeSimples = false;
46 boolean habilitaPerguntaProfundidades = false;
47 boolean habilitaProfundidade1 = false;
48 boolean habilitaProfundidade2 = false;
49 boolean habilitaProfundidade3 = false;
50 boolean habilitaDuracao1 = false;
51 boolean habilitaDuracao2 = false;
52 boolean habilitaDuracao3 = false;
53
54 int valor_recebido = 0;
55 int valor_profundidade = 0;
56 int valor_profundidade1 = 0;
57 int valor_profundidade2 = 0;
58 int valor_profundidade3 = 0;
59 int numero_profundidades = 0;
60 int[][] valores_profundidade = new int[2][3];
61 int valor_duracao1 = 0;
62 int valor_duracao2 = 0;
63 int valor_duracao3 = 0;
64 int maxW = 1600;
65 int maxH = 900;

```



```

66
67 String a = "";
68 String numero = "";
69
70 void setup()
71 {
72
73 String portName = Serial.list()[0]; //Lista as portas COM (Serial) encontradas
74 //Pega a primeira porta (Posição 0 em "Serial.list()[0]" e
75 //armazena na variável portName
76
77 myPort = new Serial(this, portName, 9600); //Abre uma comunicação Serial com baud rate de 9600
78
79 size(1600, 900); //Define o tamanho da tela
80
81 //Carrega as imagens e armazena elas em suas respectivas instâncias
82 fundo = loadImage("fundo.jpg");
83 protocoloSimples = loadImage("PS.JPG");
84 protocoloSimplesSelecioneado = loadImage("PS2.JPG");
85 profundidadeSimples = loadImage("Profundidade.JPG");
86 profundidadeSimplesC = loadImage("ProfundidadeC.JPG");
87
88 protocoloMisto = loadImage("PM.JPG");
89 protocoloMistoSelecioneado = loadImage("PM2.JPG");
90 protocoloMistoPergunta = loadImage("qst1.JPG");
91 protocoloMistoPerguntaS = loadImage("qst.JPG");
92 profundidadeMisto3 = loadImage("profundidades3.JPG");
93 profundidadeMisto3S = loadImage("profundidades3s.JPG");
94 profundidadeMisto2 = loadImage("profundidades2.JPG");
95 profundidadeMisto2S = loadImage("profundidades2s.JPG");
96 profundidadeMisto1 = loadImage("profundidades1.JPG");
97 profundidadeMisto1S = loadImage("profundidades1s.JPG");
98 duracao1 = loadImage("Duracao1.JPG");
99 duracao1S = loadImage("Duracao1S.JPG");
100 duracao2 = loadImage("Duracao2.JPG");
101 duracao2S = loadImage("Duracao2S.JPG");
102 duracao3 = loadImage("Duracao3.JPG");

```

```

103 duracao3S = loadImage("Duracao3S.JPG");
104
105 botaoIniciar = loadImage("Inic1.JPG");
106 botaoIniciarAtivado = loadImage("Inic2.JPG");
107 botaoRetrair = loadImage("retra1.JPG");
108 botaoRetrairAtivado = loadImage("retra2.JPG");
109
110 escala = loadImage("escala.jpg");
111 triangulo = loadImage("triangulo.jpg");
112
113 }
114
115 void draw()
116 {
117
118 if (myPort.available() > 0) //Se algo for recebido pela serial
119 {
120 println(valor_profundidade);
121 }
122
123
124 background(fundo); //Atualiza a imagem de fundo (backgroud) da interface
125 image(escala, maxW/2, maxH-450); // Inicia a imagem da escala
126 image(triangulo, maxW/2-20, maxH-460+valor_profundidade*(8.65/1.5)); //Apontador
127
128 image(profundidadeMisto3, maxW/2+150, 600); image(duracao3, maxW/2+450, 600);
129 image(profundidadeMisto2, maxW/2+150, 550); image(duracao2, maxW/2+450, 550);
130 image(profundidadeMisto1, maxW/2+150, 500); image(duracao1, maxW/2+450, 500);
131 textSize(20);
132 fill(0, 0, 0); //Define a cor Laranja (R, G, B)
133 text(" "+valor_profundidade1, 1210, 530); text(" "+valor_duracao1, 1460, 530);
134 text(" "+valor_profundidade2, 1210, 580); text(" "+valor_duracao2, 1460, 580);
135 text(" "+valor_profundidade3, 1210, 630); text(" "+valor_duracao3, 1460, 630);
136
137 //*****
138 if (habilitaProtocoloSimples == true) //Se o protocolo habilitar
139 {

```

```

140     myPort.write("S");
141     image (protocoloSimplesSelecionado, 130, 350); //Protocolo simples
142
143 }
144 else if (habilitaProtocoloSimples == false)
145 {
146     image (protocoloSimples, 130, 350); //Protocolo simples
147 }
148
149 if (habilitaProtocoloMisto == true) //Se o protocolo habilitar
150 {
151     myPort.write("M");
152     image (protocoloMistoSelecionado, maxW/2+250, 350); //Protocolo simples
153 }
154 else if (habilitaProtocoloMisto == false)
155 {
156     image (protocoloMisto, maxW/2+250, 350); //Protocolo simples
157 }
158
159 if (habilitaIniciar == true) //Se o protocolo habilitar
160 {
161     if (habilitaProtocoloSimples == true)
162     {
163         myPort.write(valor_profundidade);
164         valor_recebido = myPort.read();
165
166         if(valor_recebido == 'd')
167         {
168             habilitaIniciar = false;
169             habilitaProfundidadeSimples = false;
170         }
171     }
172     else if (habilitaProtocoloMisto == true)
173     {
174         switch(numero_profundidades)
175     {

```

```

176         case 03:    myPort.write(valor_profundidade1); valor_recebido = myPort.read();
177                     if(valor_recebido == 'd') delay(valor_duracao1*1000);
178                     myPort.write(valor_profundidade2); valor_recebido = myPort.read();
179                     if(valor_recebido == 'd') delay(valor_duracao2*1000);
180                     myPort.write(valor_profundidade3); valor_recebido = myPort.read();
181                     if(valor_recebido == 'd') delay(valor_duracao3*1000);
182                     break;
183         case 02:
184             myPort.write(valor_profundidade1); valor_recebido = myPort.read();
185             if(valor_recebido == 'd') delay(valor_duracao1*1000);
186             myPort.write(valor_profundidade2); valor_recebido = myPort.read();
187             if(valor_recebido == 'd') delay(valor_duracao2*1000);
188             break;
189         case 01:
190             myPort.write(valor_profundidade1); valor_recebido = myPort.read();
191             if(valor_recebido == 'd') delay(valor_duracao1*1000);
192             break;
193     }
194     valor_profundidade = 00;
195     myPort.write(valor_profundidade);
196     if(valor_recebido == 'd')
197     {
198         habilitaIniciar = false;
199     }
200 }
201
202 image (botaoIniciarAtivado, maxW/2-160, maxH-100); //Inicia o botao Iniciar
203 }
204 else if (habilitaIniciar == false)
205 {
206     image (botaoIniciar, maxW/2-160, maxH-100); //Inicia o botao Iniciar
207 }
208
209
210 if (habilitaRetrair == true) //Se o protocolo habilitar
211 {

```



```

212     valor_profundidade = 00;
213     myPort.write(valor_profundidade);
214     valor_recebido = myPort.read();
215     /*
216         textSize(20);
217         fill(0, 0, 0); //Define a cor Laranja (R, G, B)
218         text("" +valor_profundidade, 685, 465);
219     */
220     if(valor_recebido == 'd') habilitaRetrair = false;
221     image (botaoRetrairAtivado, maxW/2+57, maxH-100); //Inicia o botao Iniciar
222 }
223 else if (habilitaRetrair == false)
224 {
225     valor_recebido = 0;
226     image (botaoRetrair, maxW/2+57, maxH-100); //Inicia o botao Iniciar
227 }
228
229 if(habilitaProfundidadeSimples == true)
230 {
231     image (profundidadeSimplesC, 200, 500); // profundidade simples selecionado
232
233     valor_profundidade = parseInt(numero);
234
235     if(numero.length() >= 2)
236     {
237         textSize(20);
238         fill(0, 0, 0); //Define a cor Laranja (R, G, B)
239         text("" +valor_profundidade, 435, 535);
240     }
241 }
242 }
243
244 else if (habilitaProfundidadeSimples == false)
245 {
246     image (profundidadeSimples, 200, 500); // profundidade simples
247
248     textSize(20);
249     fill(0, 0, 0); //Define a cor Laranja (R, G, B)

```

```

250     text("" +valor_profundidade, 435, 535);
251 }
252
253
254 if(habilitaPerguntaProfundidades == true)
255 {
256     image (protocoloMistoPerguntaS, maxW/2+220, 420);
257
258     numero_profundidades = parseInt(numero);
259     textSize(20);
260     fill(0, 0, 0); //Define a cor Laranja (R, G, B)
261     text("" +numero_profundidades, 1440, 450);
262 }
263
264 if (habilitaPerguntaProfundidades == false)
265 {
266     image (protocoloMistoPergunta, maxW/2+220, 420);
267     textSize(20);
268     fill(0, 0, 0); //Define a cor Laranja (R, G, B)
269     text("" +numero_profundidades, 1440, 450);
270 }
271 }
272
273 if(habilitaProfundidade1 == true)
274 {
275     image (profundidadeMisto1S, maxW/2+150, 500);
276
277     valor_profundidade1 = parseInt(numero);
278
279     if( numero.length() == 2)
280     {
281         textSize(20);
282         fill(0, 0, 0); //Define a cor Laranja (R, G, B)
283         text("" +valor_profundidade1, 1205, 530);
284     }
285 }
286 }

```

```

287
288
289 if(habilitaprofundidade2 == true )
290 {
291     image (profundidadeMisto2S, maxW/2+150, 550);
292
293     valor_profundidade2 = parseInt(numero);
294
295     if(numero.length() == 2)
296     {
297         textSize(20);
298         fill(0, 0, 0); //Define a cor Laranja (R, G, B)
299         text(" " +valor_profundidade2, 1205, 580);
300     }
301 }
302
303
304
305
306 if(habilitaprofundidade3 == true )
307 {
308     image (profundidadeMisto3S, maxW/2+150, 600);
309
310     valor_profundidade3 = parseInt(numero);
311
312     if( numero.length() == 2)
313     {
314         textSize(20);
315         fill(0, 0, 0); //Define a cor Laranja (R, G, B)
316         text(" " +valor_profundidade3, 1205, 635);
317     }
318 }
319
320
321 //=====
322 if(habilitaDuracao1 == true)

```

```

323 {
324     image (duracao1S, maxW/2+450, 500);
325
326     valor_duracao1 = parseInt(numero);
327
328     if( numero.length() == 2)
329     {
330         textSize(20);
331         fill(0, 0, 0); //Define a cor Laranja (R, G, B)
332         text(" " +valor_duracao1, 1455, 530);
333     }
334 }
335
336
337 if(habilitaDuracao2 == true )
338 {
339     image (duracao2S, maxW/2+450, 550);
340
341     valor_duracao2 = parseInt(numero);
342
343     if( numero.length() == 2)
344     {
345         textSize(20);
346         fill(0, 0, 0); //Define a cor Laranja (R, G, B)
347         text(" " +valor_duracao2, 1455, 580);
348     }
349 }
350
351
352 if(habilitaDuracao3 == true )
353 {
354     image (duracao3S, maxW/2+450, 600);
355
356     valor_duracao3 = parseInt(numero);
357
358     if(numero.length() == 2)
359     {

```

```

396 ~ else if (mouseX >= 412 && mouseX<= 460 && mouseY>=504 && mouseY<=537 )
397 ~ {
398 ~
399 ~     numero = "";
400 ~     habilitaProfundidadeSimples = !habilitaProfundidadeSimples;
401 ~ }
402 ~
403 ~ else if (mouseX >= 1420 && mouseX<= 1470 && mouseY>=425 && mouseY<=463 )
404 ~ {
405 ~     numero = "";
406 ~     habilitaPerguntaProfundidades = !habilitaPerguntaProfundidades;
407 ~ }
408 ~
409 ~ else if (mouseX >= 1190 && mouseX<= 1242 && mouseY>=503 && mouseY<=543 )
410 ~ {
411 ~     numero = "";
412 ~
413 ~     habilitaProfundidade1 = !habilitaProfundidade1;
414 ~     habilitaPerguntaProfundidades = false;
415 ~     habilitaProfundidade2 = false;
416 ~     habilitaProfundidade3 = false;
417 ~     habilitaDuracao1 = false;
418 ~     habilitaDuracao2 = false;
419 ~     habilitaDuracao3 = false;
420 ~ }
421 ~
422 ~ else if (mouseX >= 1190 && mouseX<= 1242 && mouseY>=558 && mouseY<=592 )
423 ~ {
424 ~     numero = "";
425 ~
426 ~     habilitaProfundidade2 = !habilitaProfundidade2;
427 ~     habilitaPerguntaProfundidades = false;
428 ~     habilitaProfundidade1 = false;
429 ~     habilitaProfundidade3 = false;
430 ~     habilitaDuracao1 = false;
431 ~     habilitaDuracao2 = false;
432 ~     habilitaDuracao3 = false;
433 ~ }
434 ~
435 ~ else if (mouseX >= 1190 && mouseX<= 1242 && mouseY>=602 && mouseY<=644 )
436 ~ {
437 ~     numero = "";
438 ~
439 ~     habilitaProfundidade3 = !habilitaProfundidade3;
440 ~     habilitaPerguntaProfundidades = false;
441 ~     habilitaProfundidade1 = false;
442 ~     habilitaProfundidade2 = false;
443 ~     habilitaDuracao1 = false;
444 ~     habilitaDuracao2 = false;
445 ~     habilitaDuracao3 = false;
446 ~ }
447 ~
448 ~ else if (mouseX >= 1425 && mouseX<= 1473 && mouseY>=503 && mouseY<=543 )
449 ~ {
450 ~     numero = "" ;
451 ~     habilitaDuracao1 = !habilitaDuracao1;
452 ~     habilitaPerguntaProfundidades = false;
453 ~     habilitaProfundidade1 = false;
454 ~     habilitaProfundidade2 = false;
455 ~     habilitaProfundidade3 = false;
456 ~     habilitaDuracao2 = false;
457 ~     habilitaDuracao3 = false;
458 ~ }
459 ~
460 ~ else if (mouseX >= 1425 && mouseX<= 1473 && mouseY>=558 && mouseY<=592 )
461 ~ {
462 ~     numero = "";
463 ~
464 ~     habilitaDuracao2 = !habilitaDuracao2;
465 ~     habilitaPerguntaProfundidades = false;
466 ~     habilitaProfundidade1 = false;
467 ~     habilitaProfundidade2 = false;
468 ~     habilitaProfundidade3 = false;
469 ~     habilitaDuracao1 = false;
470 ~     habilitaDuracao3 = false;
471 ~ }
472 ~
473 ~ else if (mouseX >= 1425 && mouseX<= 1473 && mouseY>=602 && mouseY<=644 )
474 ~ {
475 ~     numero = "" ;
476 ~
477 ~     habilitaDuracao3 = !habilitaDuracao3;
478 ~     habilitaPerguntaProfundidades = false;
479 ~     habilitaProfundidade1 = false;
480 ~     habilitaProfundidade2 = false;
481 ~     habilitaProfundidade3 = false;
482 ~     habilitaDuracao2 = false;
483 ~     habilitaDuracao1 = false;
484 ~ }
485 ~
486 ~ void keyTyped() {
487 ~     numero = numero + key;
488 ~ }

```